Spain
OKJ

PUBLICACIONES DE LA JUNTA DE CIENCIAS
NATURALES DE BARCELONA — 1928

Trabajos del Museo de Ciencias
Naturales de Barcelona

Vol. IX

N.º 2

ARENA CIRCONÍFERA DE VIGO

POR EL

DR. V. SORIANO GARCÉS

PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD

(PUBLICADO EN 18 DE AGOSTO DE 1928)



MUSEO DE CIENCIAS NATURALES
BARCELONA


OF·GEMS·& GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND MINERALS
MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
EX LIB-RIS
JOHN SIN KAN KAS

JSL
RTL 010106

ARENA CIRCONÍFERA DE VIGO

INTRODUCCIÓN

Tiempo atrás fué remitida al Profesor Dr. Francisco Pardillo, por un comerciante de Vigo, una arena de esta localidad, que si bien al primer examen no contenía wolframita, mineral sospechado, causa de la consulta, reveló en seguida composición mineralógica de extraordinario interés, y acaso aprovechamiento técnico en otro sentido del que suponía el consultante.

Ya en posesión de esta arena el profesor Pardillo, me encargó como Auxiliar de las cátedras de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias de Barcelona, el estudio del material en cuestión, con el fin de que los resultados me sirvieran de memoria para aspirar al grado de doctor. Bajo la constante dirección del mencionado profesor, quien ya había hecho una primera investigación, somera, de las diversas secciones que la división por densidades daba en la arena, emprendí el análisis minucioso y profundo de la total composición mineralógica de la misma, trabajo largo y entretenido, pues júzguese ya que con el electroimán, la fundición y el líquido pesados se ha dividido una cierta cantidad de arena en 17 grupos ; que todo el contenido de cada uno de éstos ha sido clasificado con el microscopio binocular y un finísimo pincel, grano a grano, hasta dejarlo totalmente descompuesto en los diversos minerales que lo integran ; que a continuación de este desmenuzamiento se ha ido buscando, en varios granos de cada uno de los minerales, ángulos y formas, fracturas, exfoliaciones, dureza, constantes ópticas y reacciones químicas, no dando fin a la investigación hasta dejar el ánimo convencido de la diagnosis del mineral, tan diferente por todos sus aspectos

en un grano rodado, de unas décimas de milímetro de diámetro, a como lo conocemos en trozos palpables; que se ha procedido al dibujo de las formas cristalinas, y a las fotografías de los granos, llenas de dificultades, para hacer resaltar con suficiente aumento su peculiar aspecto, las formas y facetas, y que, finalmente, han salido de mis manos las preparaciones especiales para guardar y poder examinar libremente, en cualquier momento, los minerales sacados de la arena. Todo esto se ha requerido para poder hoy decir que la prodigiosa arena circonífera de Vigo contiene 44 minerales diferentes y fijar sus proporciones.

Al redactar esta memoria nos atenemos exclusivamente al tema fijado desde un principio; dentro siempre de la precisión que la ciencia mineralógica requiere; no perdiendo de vista que sólo al científico especializado ha de interesarle, y que, tanto por esto como por su índole puramente experimental, de propia investigación, aun siendo disertación doctoral, es vacuo rellenarla de la doctrina de los fundamentos y los métodos en que se apoya y que tan a la mano se tienen, con fácil y larga lista bibliográfica, en cualquiera mediana biblioteca de Cristalografía y Mineralogía. Si encabezamos este trabajo con breve reseña histórica de los progresos de la psamología, no es en contradicción con nuestro propósito, sino para que consten los pocos trabajos importantes de esta materia; la singularísima composición de la arena objeto del presente, acaso única conocida, pues no le hemos hallado par en nuestra rebusca bibliográfica, y para que siendo el primero de su naturaleza, extensión y proligidad que se publicará en España, tenga senda trillada quien por su parte se incorpore a esta clase de estudios.

En el verano de 1927, el profesor Pardillo y el autor, realizaron algunas exploraciones en los arenales gallegos, por acuerdo de la Facultad de Ciencias, en vista de los resultados obtenidos en el estudio de la arena de Vigo. Fruto de la expedición, en todos aspectos felicísima, fué un acopio considerable de valiosos materiales, tanto arenas como rocas circundantes a los yacimientos de aquéllas, de diversas locali-

dades, que han de ser estudiados y relacionados entre sí. Podría, pues, esta memoria ir acompañada de otros muchos datos referentes a las condiciones del yacimiento de la arena, a las rocas próximas, a las circunstancias oceanográficas, geológicas, etc. ; pero con ser todo ello reunido tema excesivo para quien se propone conseguir la investidura doctoral, daría a conocer pormenores cuya posesión no me pertenece exclusivamente.

Conste aquí mi agradecimiento al profesor Dr. Francisco Pardillo, y conste también que sin los excelentes medios de investigación reunidos en el laboratorio de sus cátedras, hubiera sido inútil emprender el presente estudio, que me ha proporcionado, día tras día, la incomparable emoción de tener bajo mis ojos, seleccionar y avalorar las gemas de un tesoro minúsculo, que no otra cosa es la arena de Vigo vista con el microscopio.

El contenido de esta memoria comprende cuatro capítulos : I. Reseña histórica de la investigación mineralógica de las arenas. — II. Técnica analítica seguida en este trabajo. — III. Composición mineralógica de la arena. — IV. Descripción de los minerales.

Universidad de Barcelona, mayo de 1928.

CAPÍTULO I

Reseña histórica de la investigación mineralógica de las arenas

El primer estudio algo científico sobre arenas es el presentado por REAUMUR a la Real Academia de Ciencias de París en 1718, titulada « *Essai historique des rivières et des ruisseaux du royaume, qui roulent des pailletes d'or, avec des observations sur le sable avec lequel elles sont mêlées* ». No obstante las deficiencias teóricas y técnicas de aquella época, REAUMUR distingue tres clases de arena: blanca, roja y negra, correspondientes a nuestras arenas cuarcíferas, granatíferas y ferríferas. El examen hace ver al autor francés multitud de minerales, algunas de cuyas designaciones son, probablemente, falsas, pues están dadas por el color; tal, por ejemplo, las esmeraldas, que bien pudieron ser ceilanitas, piroxenos o anfiboles.

Otra publicación, de no gran importancia científica, es la de L. BOSSI, de Milán, leída en la Academia de Ciencias de París en 1804. El trabajo contiene el estudio de las arenas auríferas del Tesino, desde el punto de vista de la riqueza en este metal precioso.

Investigación metódica y de más fundamento científico nos proporciona PHIPSON con un trabajo [1] referente a las arenas metalíferas que figuraron en la Exposición Universal de Londres, celebrada en 1862. Se da cuenta de la composición química de las de Freemantle (Australia), y de la mineralógica llevada a cabo con el microscopio. Distingue el autor iserina, *silicato de circón*, cuarzo, topacio (en pequeños fragmentos rosa, amarillos

---

(1) *Comp. rend. Acad. Sci. LXIV*, págs. 87-88.

y blancos) apatito y algunos diamantes que reconoce por el gran número (144 y más) de facetas que presentan.

Creemos que esta riqueza en facetas no es muy propia del diamante, y por ello y decir el autor que la principal diferencia con el topacio está en el menor brillo, bien pudiera ser otro mineral.

En las arenas de procedencia basáltica de la isla Borbón, cita PHIPSON topacios amarillos, rodados y muy brillantes, que son, seguramente, granos de olivino.

J. BLAKE (1) dió a conocer la estructura y composición de la «arena sonora» de Kauai (islas Hawaii), determinadas mediante el análisis microscópico. Dichas arenas constan, en su mayor parte, de pequeños trozos de corales y esponjas calcáreas, atravesados por canalículos y cavidades que comunican con el exterior por diminutos orificios. Al chocar unos granos con otros, entran en vibración las innumerables cámaras aéreas, produciendo la sonoridad característica, fenómeno que desaparece al mojarse la arena, lo que comprueba la explicación dada. Además, y esto es lo pertinente a nuestro objeto, descubre BLAKE en el material de su estudio, cristales de augita, nefelina y magnetita, juntamente con fragmentos de masas vítreas, que parecen indicar el origen volcánico de la arena.

En opinión de J. W. RETGERS (2), el trabajo de G. UZIELLI, «*Sopra lo zircone della costa tirrena* (3), debe ser considerado como primer ejemplo de análisis mineralógico de una arena marina. El autor estudió varias muestras de Porto d'Anzio y de la costa comprendida entre Nápoles y Civitavecchia, encontrando circón constantemente acompañado de augita, olivino, feldespato monoclínico, magnetita titanífera y calcita. Además halla en dichas arenas cuarzo, plagioclasas, leucita y apatito.

(1) *Proc. of the California Ac. of Sc., V. III*, pág. 357, 1875. — *Neues Jahrb.* 1876, pág. 962.
(2) *Neues Jahrb.*, 1895, I, pág. 17, nota 5.
(3) *Atti R. Accad. Lincei*, 3, 1876. — *Neues Jahrb.* 1877, pág. 303

Por la distribución del circón desde la desembocadura del Volturno hacia el norte, a lo largo de la costa, estado de conservación de los cristales, forma prismática y color amarillento, a diferencia del circón del Vesubio, que es octaédrico y azulado, deduce UZIELLI el arrastre fluvial, primeramente, y el marino por la corriente del Sur, que es la dominante. Como resultado de las mediciones hechas en los cristales de circón y en los de apatito, da el autor el procedimiento seguido en la determinación angular y cálculo de los minerales en el microscopio.

En 1877 H. C. SORBY [1] presentó su memoria presidencial a la *Royal Microscopical Society*, sobre los caracteres microscópicos de las arenas, trabajo que abrió nuevos horizontes a la petrografía microscópica.

Establece primeramente el autor que el estudio de una roca clástica no ha de limitarse al conocimiento exacto de las especies minerales que la componen, sino a seguir la filiación de estas como detritos de otras rocas, al objeto de precisar no sólo el origen de los materiales clásticos, mas también las transformaciones experimentadas al tiempo de la disgregación o después de acumulado el depósito.

Según el grado de solidez de la roca, aconsejaba SORBY emplear para la investigación secciones delgadas transversales a la estratificación, o bien los granos aislados por ataque químico del cemento, o por acciones mecánicas, siempre proporcionadas a la resistencia de los elementos minerales, a fin de que no pierdan éstos su forma y dimensiones, o ya, finalmente, un acepillado de la muestra bajo agua, para que las escamitas y las hojuelas no se aglutinen, con levigado ulterior, de movimiento suave, suficiente a separar las partes finas de las más gruesas.

Trata asimismo el autor de los medios incluyentes a que han de ser llevados los granos, en relación con el índice de refracción, y según se quiera estudiar la forma y aspecto externo del mineral

---

[1] *The Monthly microscopical Journal, March,* 1877. — *Neues Jahrb.* 1880, I, página 216

o su estructura interna, dando normas para ciertos casos y para el empleo de diafragmas o iluminación divergente, a tenor del estado de la microscopía en aquella época.

La parte más interesante del trabajo de SORBY es la referente a la determinación del origen de los minerales más definidos en las arenas y rocas clásticas, al simple examen de sus cualidades externas. Salvando la imposibilidad de establecer reglas absolutas, observa el micrógrafo inglés que el cuarzo de origen granítico o neisico es más o menos anguloso o se presenta en granos redondeados isométricos, mientras el procedente de las pizarras es tabular, de caras paralelas y alargado. Además, la arena granítica y la néisica se componen de granos de cuarzo constituídos por un solo individuo, y el cuarzo salido de las pizarras consiste en agregados de varios individuos, según revela el examen óptico.

La mica puede tener tres aspectos : incolora, parda dicroítica y verde dicroítica. La primera procede de granito o de pizarras ; la segunda, de granito o de pizarras muy alteradas, y la tercera de pizarras frescas.

Hornblenda en prismas tabulares caracteriza la arena de pizarra. Fragmentos de turmalina son propios de arenas graníticas. La ortosa, reconoscible por sus exfoliaciones, tiene procedencia granítica ; el labrador, fácil de conocer por su composición lamelar múltiple, es indicio de la preexistencia de rocas eruptivas básicas. Partículas de piedra pómez se encuentran muy abundantes en las arenas y arcillas de profundidad marina.

Después de reseñar los caracteres ópticos por los cuales se determinan al microscopio cuarzo, calcita, mica, hornblenda, turmalina, caolín y feldespato, da cuenta SORBY de la composición mineralógica de varias arenas, entre ellas las del desierto egipcio, señalando la particularidad de que la acción eólica redondea los granos de cuarzo más intensa y perfectamente que el agua, y en mayor grado cuanto más gruesos son aquéllos.

J. BRUN [1] estudió las arenas de cinco localidades diferentes

[1] *Min. Mittheil.*, 1877, pág. 221.

del Sahara, no empleando otro procedimiento que el puramente microscópico para la determinación de los componentes minerales, y el químico para la composición general de la mezcla de las diversas tomas. Entre los minerales halló cuarzo, feldespato, yeso ferruginoso y arcilloso y yeso puro. Con referencia a éste hace el autor la curiosa observación de que las hojuelas han perdido en algunos puntos su transparencia, por haberse convertido en anhidrita, merced a la concentración de los rayos solares efectuada por los granos de cuarzo lisos y redondeados.

Las arenas del Mesvrin, en Autun, fueron estudiadas microscópicamente por A. MICHEL-LEVY (1) encontrando, sin otra preparación que la separación por los imanes, según el método de FOUQUÉ (2), en orden de importancia: magnetita, circón en cristales de 0,32 mm × 0,09 mm, alargados, con {110}, {112} y a veces {001}, forma muy rara en este mineral; color ligeramente pardusco por transparencia y verdoso por reflexión, y peso específico de 4,50; olivino, granate ligeramente rosado, con la superficie acribillada de corrosiones cúbicas y regularmente orientadas; esfena, cromita, turmalina y zafiro. El origen de estos minerales parece ser: del olivino y parte de la magnetita, los basaltos del Drevin; de la restante magnetita y parte del granate, de la cromita, esfena y el circón, las anfibolitas de Marmagne; del resto de los granates y las turmalinas, las numerosas granulitas de la región.

En todos estos análisis mineralógicos se empleaba, cuando más, la separación mecánica de los minerales atraíbles por el imán; pero no se encontraba manera de aislar entre sí los exentos de hierro, pues si bien el procedimiento de separación por densidades había sido indicado por FLEURIAU DE BELLEVUE y CORDIER a principios del siglo XIX (3), y en 1862 utilizó el conde de SCHAFFGOTSCH (4) la disolución de nitrato de mercurio como

(1) *Bull. Soc. Min. de France*, I, 1878, pág. 39.
(2) *Academie des Sci.*, *XXII*, 11, 1875.
(3) V. GOLDSCHMIDT. *Neues Jahrb. Beil. Band, I*, 1881, pág. 179.
(4) *Pogg. Ann.* t. 116, pág. 279.

medio de determinar el peso específico de los minerales, no se hace general uso de la separación por líquidos pesados hasta que en 1877 A. CHURCH [1] llama la atención sobre el uso del líquido de SONSTADT, es decir, la disolución del yoduro potásico mercúrico, en la separación de los minerales, experimentando las útiles aplicaciones que tiene para los joyeros en la distinción de las piedras preciosas. Así, averigua el citado autor que la mayor parte de los llamados zafiros blancos y topacios blancos no son otra cosa que berilos o cuarzo. CHURCH preparó asimismo la disolución de yoduros con peso específico tal que las turmalinas blancas (p. e. = 3,01) quedaban en suspensión, y da a conocer un sencillo frasco separador.

J. THOULET [2] aplica y extiende el método de CHURCH a la separación mecánica de los diversos elementos mineralógicos de las rocas, empleando un aparato de invención propia; mas preparando el líquido de SONSTAD, que hoy llamamos líquido de THOULET, de tal suerte que no pasa su peso específico de 2,77.

En su amplia y minuciosa memoria sobre la aplicación de la disolución del yoduro potásico mercúrico a los estudios mineralógicos y petrográficos, expone V. GOLDSCHMIDT [3] los resultados de su investigación sobre las propiedades físicas de la disolución saturada; la densidad máxima a que puede llegar; la composición; manera de prepararla; regeneración; contracción por evaporación; alteraciones; acción de la temperatura; poder dispersivo; índice de refracción en relación con el peso específico etcétera, consignando en minuciosa discusión todo lo concerniente a la práctica de la determinación del peso específico de los minerales y del análisis mecánico de las rocas mediante la citada disolución de yoduros.

GOLDSCHMIDT prepara la disolución con peso específico de 3,196, cuando CHURCH llegó a 3,01 y THOULET a 2,77. La im-

(1) *Min. Magaz.* t. I, noviembre, 1877, pág. 237.

(2) *Compt. rend. Accad. Sci.* 18 febr. 1878. — *Bull. Soc. Min. de France II*, 1880, pág. 17.

(3) *Neues Jahrb. Beil. Band, I*, 1881, págs. 179-238.

portancia de este progreso técnico bien se advierte considerando que pueden ya ser separadas especies minerales de tanto interés como el apatito, la turmalina, la mayor parte de los anfiboles, algunos piroxenos, la andalucita, casi todas las micas, etc.

Después del trabajo del profesor de Heidelberg, y la contribución de K. OEBBEKE (1), el líquido de SONSTADT quedó científicamente incorporado a la técnica de la psamología. Adolecía aun ésta de la imposibilidad de separar entre sí los minerales de peso específico superior a 3, 196, cuando R. BRÉON (2), dió el medio, consistente en mezclas fundidas en proporciones variables de cloruro de plomo (fundido, p. e. = 5) y cloruro de cinc (fundido, p. e. = 2,5) en las que se vierten los granos minerales y se recogen los más densos, después de sedimentados y solidificada la mezcla, disolviendo la parte incluyente de ésta con agua caliente acidulada ligeramente con acético.

Por ambos procedimientos, el de los yoduros y el de los cloruros, se tuvo ya la gama completa de densidades para separar todos los minerales petrográficos : desde la magnetita a las ceolitas. Abierto el camino, fueron sucediéndose los descubrimientos de fundiciones y líquidos pesados aplicables a la investigación de arenas y rocas. En la enumeración y descripción de estos medios separantes no hemos de entrar, pues consta en todos los manuales y tratados de técnica petrográfica, y no es otro nuestro objeto que señalar los puntos culminantes y avances en el conocimiento de la composición mineralógica de las arenas. Estos últimos no se hacen esperar, y ya R. BRÉON (3) halla los siguientes minerales, algunos muy raros, en arenas marinas de varias localidades francesas : magnetita, hierro titanado, granate, zafiro, estaurolita, esfena, piroxeno, anfibol, glaucofana, casiterita, oligisto, durangita y topacio blanco ; y THOULET (4) analiza

(1) *Beiträge zur Petrographie der Philippinen*, etc. *Neues Jahrb. Beil. Band I*, 1881, pág. 454.

(2) *Compt. rend. I*, sem. 1880, n.º 11, pág. 626.

(3) *Bull. Soc. Min. de France*, t. III, 1880, pág. 55.

(4) *Bull. Soc. Min. de France*, t. IV, 1881, pág. 262.

microscópicamente la arena del Sahara, dividiéndola en secciones con la disolución de yoduros, y halla magnetita, cromita, granates, olivino, anfibol, piroxeno, calcita, cuarzo y feldespato.

El interesante trabajo de H. WHICHMANN (1) acerca de las arenas del Tauern en Gschlöss (Tirol), arroyo que recoge el agua de fusión de varios glaciares, aunque no fué hecho por el procedimiento de separación por densidades, o a lo menos no se consigna el empleo de semejante técnica, contiene la descripción de bastantes minerales, entre ellos epidota, circón, rutilo, turmalina y apatito. Como resultado de los minerales vistos, concluye el autor que las arenas en cuestión proceden de los neis y diversas especies de pizarras micáceas existentes y conocidas de la región superior de aquella zona glacial; pero que la presencia y formas del circón presupone granitos, pizarras cloríticas y cloritoideas de las cuales no se tiene noticia.

He aquí, pues, cómo el estudio bien fundamentado de las arenas de una región, puede ser el muestrario que dé el avance sobre lo que petrográficamente hay que esperar se halle en la comarca.

Acaso el primer trabajo sobre arenas, que llama la atención en el recorrido bibliográfico, es el de E. ARTINI (2) referente a la composición mineralógica de las arenas del Tesino, a su salida del glaciar, en el extremo sur del lago de Como. El autor se vale de los líquidos de THOULET y de ROHRBACH, y con ellos separa oro, pirita, ilmenita, magnetita, rutilo, hiperstena, dialaga, augita, diversos anfiboles, circón, granate, etc. La arena más fina contiene mucha mica y escasos granos de minerales pesados; algunos faltan por completo. En ciertos lugares ha ocurrido una levigación natural como la de los lavaderos de oro, y las arenas se hallan enriquecidas de las especies más densas. En relación con los rasgos geológicos de la comarca, concluye el autor el posible origen de aquellas arenas.

(1) *Min. Mitth.*, 7, 1886, pág. 452.
(2) *Giornale di min. i petr.* 2, 1891, págs. 1-19. — *Neues Jahrb.* I, 1892, pág. 515

En el año 1891 publicó J. W. RETGERS (1) una memoria acerca de la composición de las arenas de las dunas de Holanda, y a partir de tal fecha hasta 1895 (2) da a conocer una serie de investigaciones sobre la arena de la procedencia dicha, estableciendo ya una marcha sistemática, verdaderamente analítica, de la composición mineralógica y química de las formaciones psamíticas, primeros estudios sobre arenas marinas litorales. Prolijo sería transcribir aquí todas las utilísimas instrucciones acerca de la técnica conveniente para el estudio de las arenas, la separación por densidades, durezas, índices de refracción, etc.; descripción de los granos de los diferentes minerales, valoración de los resultados, y demás pormenores que han llegado hasta nuestros días; pero sí consignaremos los puntos capitales, de sumo interés para la concepción general de las investigaciones psamológicas.

Por su peso específico, los minerales de las arenas han de ser separados mediante las fundiciones o los líquidos pesados, en los siguientes grupos:

		Peso específico
1.°	Mineral de hierro........	5,2 — 4,8
2.°	Circón..................	4,8 — 4,5
3.°	Rutilo..................	4,5 — 4,2
4.°	Granate................	4,2 — 3,6
5.°	Piroxeno...............	3,6 — 3,3
6.°	Anfibol................	3,3 — 3,0
7.°	Calcita-cuarzo..........	3,0 — 2,7
8.°	Cuarzo..................	2,7 — 2,6
9.°	Cuarzo-ortosa...........	2,6 — 2,5

(1) *Annales de l'Ecole Polytechnique de Delft*, t. VII, 1891, págs. 1-50.
(2) *Neues Jahrb.* 1895, I, págs. 16-74.

Conforme a esta división en grupos, las arenas de Holanda, presentan la siguiente composición :

Grupo	1.°	0,05 %	
»	2.° y 3.°..	0,05	
»	4.°	2,40	
»	5.°	1,00	
»	6.°	1,50	
»	7.°	7,50 %	
»	8.°	85,00	95,00 %
»	9.°	2,50	

Resultado interesante para ser comparado con el de las arenas objeto de esta memoria, y por el cual se ve que los minerales ligeros (y como tales designaremos en lo sucesivo los de peso específico igual o menor que 3,0) dan el 95,0 % del total de la arena.

Cada uno de estos grupos, con excepción del grupo del cuarzo, es sometido al análisis químico. De la relación y presentación tabular de los resultados con las proporciones de los componentes minerales, se llega a diversas conclusiones sobre la naturaleza química de las arenas. Es decir, el análisis químico global, que generalmente se efectuaba con las arenas, es sustituído por el de los diferentes grupos, y se calcula después la proporción de los componentes.

A la descripción de los minerales hallados, une el mencionado autor interesantes consideraciones acerca de los estudios psamológicos, analizando los diversos grados de dificultad que en las arenas de los ríos se presentan para dilucidar la cuestión capital : la diferenciación entre los granos minerales de ambas orillas y las procedentes del postpais. Constan también en el trabajo correlativas observaciones sobre la interpretación genética de las arenas litorales.

Por aquella misma época, SCHROEDER VAN DER KOLK [1] trata de aplicar a las arenas cuaternarias de Holanda los procedimientos cartográficos del cuaternario aprendidos con F. WAHNSCHAFFE, tropezando con grandes dificultades que el mineralogista holandés resuelve por su parte. Adquiere el convencimiento de que para carecterizar las arenas, su procedencia, etcétera, de una comarca, no es suficiente atender al dato cualitativo, es decir, a la presencia de tales o cuales especies características. Con el bromoformo (p. e. = 2,88) separa de las arenas los elementos pesados, halla el tanto por ciento y con esta cifra y numerosas muestras de muy diversas procedencias, llega a precisar que las arenas diluviales escandinavas tienen más del 0,5 % de minerales pesados y que las arenas del Rin y del Maas menos del 0,5 %.

Aplicando procedimientos nomográficos a la serie de estas proporciones, se obtienen curvas especiales según sean las arenas de origen diluvial o aluvial. Puede, sin embargo de esto, ocurrir que dos arenas de origen diferente presenten las mismas proporciones, pero la distinción resulta entonces de las cantidades relativas de anfíbol y granate. El primero de estos minerales es notablemente menos resistente a las acciones mecánicas que el segundo, y así resulta que las arenas aluviales, a consecuencia del prolongado movimiento en las aguas, van perdiendo poco a poco el anfíbol y se enriquecen de granate. Por lo contrario, las arenas diluviales contienen mucho más anfíbol, resultado solamente cierto si la muestra no es superficial. Además, se llega al conocimiento de que las arenas diluviales presentan proporción casi constante de minerales pesados, mientras en las aluviales esta característica varía muy sensiblemente.

La representación gráfica de este tanto por ciento en toda una serie de localidades, así como de las proporciones de anfíbol

---

(1) *Neues Jahrb.*, 1895, I, pág. 272. — *Verh. k. Akad. Wetensch. Amsterdam*, 1897, pág. 575; *Neues Jahrb.*, 1898, I, pág. 122. — *Zeitsch. deutsch. geol. Ges.* 48 (4) página 773.

y granate, revela interesantes leyes en la distribución comarcal de arenas interiores y litorales.

P. SABBAN (1) extiende el método del mineralogista holandés al estudio de la inmensa región de dunas del S. de Mecklemburgo, y a la distinción de arenas diluviales y aluviales, comprobando que hay estrecha relación entre la magnitud de los granos y la riqueza en minerales pesados : a medida que el grano disminuye de grosor, aumentan éstos y el cuarzo. A veces, la mayor abundancia de minerales pesados ocurre a costa del cuarzo. El autor afirma que el procedimiento seguido da resultados más exactos que el aparato levigador de SCHÖNE.

En la investigación de la composición mineralógica de las arenas nótase cierto predominio de la escuela italiana, de 1895 a 1902, con los trabajos de COLOMBA (2), ARTINI (3), PIOLTI (4), CLERICI (5), ROCCATI (6), MANASSE (7), etc.

No es posible pasar por alto en esta breve reseña, la investigación de las arenas diamantíferas de Bahía (Brasil) llevada a cabo por E. HUSSAK (8) quien precisa la existencia de interesantes elementos pesados, como columbita y monacita, encontrando cuando más 27 minerales en algunas muestras ; y la breve nota de A. LACROIX (9) acerca de las arenas monacíticas de Madagascar, en las que halla 13 minerales pesados.

En las publicaciones de los últimos años se encuentran, como importantes, los estudios de SHANNON (10) sobre las arenas negras de Idaho, procedentes de placeres auríferos; BUTTGENBACH (11) acerca de las arenas concentradas por los ríos del Congo belga ;

---

(1) *Mitth. d. Gr. Meckl. geol. Landesamt.* 8, 1897, 52 págs. *Neues Jahrb*, 1899, II.
(2) *Atti d. R. Accad. Sc. di Torino*, 1895-1896.
(3) *Rend. R. Ist. Lomb. Sc. e Let.* 1896.
(4) *Ann. d. Accad. d'Agricolt. di Torino*, 1897.
(5) *Proc. Soc. Toscana Sc. Nat.*, 1902.
(6) *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 1901.
(7) Idm. 1900.
(8) *Min. Mitth.* XVIII, pág. 352.
(9) *Bull. Soc. Min. de France*, 32, 1909, pág. 313.
(10) *Proc. U. S. Nat. Museum*, 1921, t. 60, 33 págs.
(11) *Ann. Soc. Geol. Belgique*, 1923. *Bull.* págs. 213-228 y 229-234.

FLEET (1) quien halla minerales pesados, como granate, anatasa y apatito, en las arenas triásicas próximas a Birminghan ; STUART (2) sobre la arena de las dunas del sur de Gales, con 39 minerales y ausencia de moscovita ; POPOW (3) que trata de las arenas de la península de Taman, y TSCHIRWINSKY (4) dando a conocer la composición mineralógica de las playas situadas al norte del mar de Azof.

De España conocemos los análisis de arenas publicados por el catedrático de Barcelona M. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA (5), quien halla : en las arenas de la isla Cristina (Huelva),

Caliza	8,4 gr.
Ilmenita y magnetita	5,7
Hidróxido de hierro	2,9
Anfíbol y piroxeno	2,0
Cuarzo	81,0

en las de Zalabar (Huelva),

Caliza	5,4 gr.
Ilmenita y magnetita	5,6
Hidróxido de hierro	2,0
Anfíbol y piroxeno	3,2
Cuarzo	83,8

En estos análisis, como en los de las arenas de Liencres, Oriñón y Playal del Somo, localidades de la provincia de Santander, en los que se consigna las proporciones de caliza, hidróxido de hierro y cuarzo, se relacionan los datos químicos con

(1) *Proc. Geol. Assoc.* Londres, 1923, 34, págs. 114-119.
(2) *Idem,* 1924, 35, págs. 316-331.
(3) *Compt. rend. Accad. Sci. de Russie,* 1924, págs. 16-19.
(4) *Ann. Soc. Min. de Russie,* 1925, cuad. I, págs. 159-172. *Neues Jahrb.* 1927, I, pág. 38.
(5) *Contribución al estudio de las dunas de la península ibérica,* 1910. Tesis doctoral.

los resultantes de una separación mineralógica por el imán y densidades en dos grupos: el del cuarzo y el de los minerales oscuros, más pesados.

Aunque con otros propósitos muy diferentes de los que inspiran el presente trabajo y los reseñados en este capítulo, hay en las memorias del Profesor Dr. R. DE BUEN [1] del Instituto Español de Oceanografía, datos de composición mineralógica de arenas de fondos marinos, en el grado, procedimientos determinativos y extensión necesarios para los estudios batilitológicos preliminares al trazado cartográfico de la distribución de fondos. En los de la bahía de Palma de Mallorca halla el mencionado autor: cuarzo, ortosa, plagioclasas, glauconita, berilo, sanidina, clorita, corindón, esfena, augita, turmalina, granate, circón, apatito, rutilo, sillimanita, distena y andalucita.

La mayor parte de estos minerales pesados y raros se han encontrado en las muestras de sedimentos de la zona interior de la bahía, donde se deja sentir la influencia de los aportes fluviales.

En la memoria sobre la distribución de los fondos del Mediterráneo, el Profesor R. DE BUEN rectifica sus observaciones sobre la existencia del corindón en los fondos de la bahía de Palma de Mallorca. Ha de ser muy interesante hacer un estudio comparativo y complementario detenido entre los materiales de las arenas de la ría de Vigo, en sus playas, y los de los fondos de la misma zona marítima, recogidos y estudiados por el mencionado autor en la memoria correspondiente del Instituto Español Oceanográfico.

De esta reseña acerca de los trabajos psamológicos, queda la impresión de que es poco lo que se ha investigado en cuanto a

---

(1) *Estudio batilitológico de la bahía de Palma de Mallorca.* Trabajos de Oceanografía y Biología marina, dirigidos por el Prof. Dr. Odón de Buen, Director del Instituto Español de Oceanografía. Madrid, 1916

Estudio de los fondos del Mediterráneo... Trabajos de Oceanografía y Biología marina, dirigidos por el Prof. Dr. Odón de Buen, Director del Instituto Español de Oceanografía. Madrid, 1916.

la composición mineralógica de las arenas de los diferentes países, y que fuera de la escuela holandesa de RETGERS y de SCHROEDER VAN DER KOLK, principalmente, los trabajos han consistido en estudios aislados y no en una exploración seguida, metódica, de las grandes comarcas, para poder trazar el mapa de distribución, en unión de los estudios petrográficos y oceanográficos pertinentes.

CAPÍTULO II

Técnica analítica seguida en este trabajo

En este capítulo trazo a grandes rasgos la marcha operatoria empleada, deteniéndome algo más en aquellos pormenores que la experiencia nos ha demostrado interesantes para quien por primera vez emprende esta clase de investigaciones, y en la descripción de algunos artificios que se nos han ocurrido y hemos puesto en práctica con buen resultado.

Cribado y tamaño de los granos. Esta operación preparatoria ha sido innecesaria en este caso, pues la arena está constituída por granos de dimensiones bastante uniformes y, desde luego, adecuadas a la separación por las fundiciones y líquidos pesados. Quitadas con una criba de anchas mallas algunas pedrezuelas y poquísimas porciones de conchas que contenía, se ha ido viendo en el estudio de los diferentes minerales que el grosor de los granos es, por término medio, de 0,41 mm, comprendido entre los valores extremos 0,19 mm y 0,58 mm. Como caso excepcional se ha encontrado un cristal de rutilo que mide 1,5 mm de longitud. Por la clasificación de ORTH (1) esta arena se calificaría de *grosor medio* ; pero según los grupos que THOULET establece (2) mucho más subdivididos, le corresponde la categoría de *arena fina n.°* 1.

Separación por el electroimán. A tal efecto hemos empleado un electroimán montado en un bastidor vertical, según el modelo

(1) DELESSE ET LAPPARENT. *Revue de Geologie*, 1871.
(2) *Precis d'analyse des fonds sousmarins*, 1907, pág. 61.

de ROSENBUSCH, conectado a la corriente general, con las correspondientes resistencias de lámparas.

Separación por densidades. Dos medios se han empleado para esto : el líquido de SONSTADT, o líquido de THOULET, y el nitrato de plata y talio $(NO_3)_2AgTl$, recomendado por RETGERS (1). El yoduro potásico-mercúrico, usado en una vasija BRÖGGER, nos ha ido dando separaciones hasta su densidad máxima. En la preparación y técnica de este líquido no hemos de entrar, por ser de general dominio, dado su frecuente empleo en los laboratorios. En cuanto a la fundición de RETGERS consignaremos la marcha seguida en su preparación y uso.

La sal doble se obtiene fundiendo en una cápsula, al baño de vapor, los nitratos taloso y argéntico. El primero, de elevado coste en el comercio, lo hemos obtenido con talio y ácido nítrico. La preparación de 342 gr. de la sal doble ha requerido 133,33 gr. de NO_3Ag y 208,65 gr. de NO_3Tl. Se empieza por atacar el talio con la cantidad mínima del ácido, al baño de vapor, con lo que se forma una sal blanca ; se vierte el ácido sobrante ; se añade la cantidad calculada de nitrato de plata ; se agita hasta que toda la masa quede convertida en un líquido, y se sostiene largo tiempo en el baño de vapor hasta el total desprendimiento del ácido libre. La mezcla fundida tiene gran transparencia, mucha movilidad y color ligeramente verdoso, semejante al del vidrio ; pero si la acción del calor se prolonga, aparece coloración pardusca, que se elimina añadiendo muy pocas gotas de ácido nítrico y agitando.

Al enfriarse el contenido de la cápsula resulta una sustancia blanca, de dureza pétrea, difícil de fragmentar para guardarla en el frasco. La luz no ejerce acción sensible sobre esta doble sal. Fundida es miscible con el agua, y por ello su peso específico puede bajar cuanto se quiera desde el valor máximo, que oscila entre 4,8 a 5,0.

(1) *Neues Jahrb.* 1893, I, págs. 90-94.

Primeramente empleamos la fundición de RETGERS en un aparato sistema LUEDECKE [1], mas la práctica nos ha hecho ver en él los siguientes defectos. Al colocar el tapón para dividir en dos el aparato, quedan entre él y el cuello de la vasija granos de los suspendidos que impiden el ajuste, o de conseguir éste hay que triturarlos para que al separar la copa superior no se escape el líquido. Vueltas otra vez a su posición de enchufe las dos partes del aparato, el tapón debe ser retirado, y corre entonces parte de la arena flotante por el tubo y el tapón, quedando allí adherida. Al mismo tiempo, como quiera que el vasito inferior está ya vacío de líquido y minerales, la enorme burbuja de aire que asciende al quitar el tapón y caer el líquido, remueve de tal modo la parte flotante, que los minerales más ligeros llegan hasta el fondo. No sería esto inconveniente si el inevitable grosor del cuello de la copa, que se enchufa por dentro del vasito, no opusiera luego un obstáculo a la ascensión de los granos ligeros, que se recogen, por consiguiente, en un grupo muy distante del que les corresponde. Hay que tener en cuenta, además, que las manipulaciones han de hacerse estando metido todo el aparato en una vasija, que ha de ser de grandes dimensiones, llena de agua caliente, para mantener fundida la sal doble.

Por todo ello nos resolvimos a emplear el sistema sencillo de un tubo de ensayo sujeto por una pinza a un soporte vertical y metido en un vaso de precipitados con agua que se calienta con un mechero de gas. En el tubo de ensayo se introduce la cantidad de sal sólida que se considere suficiente al fundirse. La temperatura del agua caliente no ha de pasar de unos 70°, pues a mayor temperatura las burbujas que se desprenden desde el fondo del tubo se adhieren a los granos y los agitan y mezclan. Para cada grado de dilución la temperatura no debe pasar de la que corresponde a su punto de fusión.

Como agitador empleamos una varilla de cristal estirada en diámetro capilar, en la que, con un poco de habilidad, no se adhie-

---

[1] *Zentralblatt f. Min.* 1911, pág. 425.

ren los granos. Es detalle importante que el agua de dilución debe ser caliente y ligeramente acidulada con nítrico, de lo contrario aparece coloración rojiza en el líquido fundido.

Siendo así que la densidad de éste varía extraordinariamente con la temperatura, conviene emplear un vaso de bastante cabida, que además hace las veces de un cristal de aumento, para el examen del proceso de la separación. Por tal circunstancia presumimos que ha de ser deficiente el aparato de PENFIELD (1).

Una vez solidificado el contenido del tubo, lo que ha de hacerse sumergiendo rápidamente el tubo en agua fría, rompemos el fondo, y sirviéndonos el resto de mango, para no manchar las manos con el contacto del nitrato, fundimos la parte libre de éste, donde están incluídos los granos pesados, al suave calor de un mechero inclinado encima de una capsulita. Añadimos al contenido de ésta agua caliente acidulada con nítrico, decantamos, lavamos la arena varias veces con agua de las condiciones dichas, incorporamos todas las porciones al nitrato, para luego concentrarlas en el baño de vapor, lavamos la arena con agua destilada y, finalmente, la desecamos. El líquido de RETGERS tiene la ventaja de ser eliminado fácilmente por lavado, lo que no ocurre con el yoduro potásico-mercúrico.

Indicadores del peso específico. La separación de la arena en grupos con la fundición de RETGERS requiere, como se ha dicho, diferentes grados de dilución, y por ello el empleo de indicadores para determinar la densidad correspondiente. A tal objeto nos hemos valido siempre de un mismo cristal de los siguientes minerales :

---

(1) *Zeitschr. f. Kryst.* 1896, 26, pág. 134.

	Peso específico
Circón	4,470
Rutilo	4,238
Granate	4,183
Corindón	3,874
Distena	3,699
Estaurolita	3,480
Vesubianita	3,387
Augita	3,300
Axinita	3,285

El peso específico de estos indicadores ha sido determinada con la fundición de RETGERS y la balanza de WESTPHAL. Esto nos ha obligado a preparar en el laboratorio un sumergible especial de gran densidad, constituído por una ampollita de cristal llena de mercurio, soldada a la lámpara, y a adaptar a su volumen el peso de los reiters. Para el líquido de THOULET se han empleado los indicadores de GOLDSCHMIDT.

Elección a mano con el microscopio binocular. Para realizar esta operación hemos ideado un portaobjetos clasificador representado a $^1/_2$ del tamaño natural en la figura 1. Consiste en una placa de vidrio sobre la que van pegadas con bálsamo del Canadá unas tiras de vidrio, de bordes biselados, dispuestas de modo que forman ocho departamentos. En el que lleva el número 0 se coloca el grupo de granos que debe ser seleccionado, y de allí, con un pincel muy fino, se llevan los granos de la misma especie a cada uno de los recintos. Estos tienen un paso de entrada y otro de salida por el borde de la placa que hace de base, y por éste se pasan luego los granos reunidos a portaobjetos excavados, vidrios de reloj o a las preparaciones que luego indicaremos. Junto al canal de entrada lleva cada compartimiento un número, que de este modo es visible simultáneamente con el canal, lo que facilita el traslado y depósito de los granos, arrastrados desde el departamento 0.

A nuestro entender, este artificio reune ventajas con respecto al sistema de la placa de vidrio con lentes de pie de Leitz y Fuess, o a la canal única que recomienda Rosenbusch. Permite ser colocado sobre la mesa cuando el binocular se utiliza sin platina, o bien sobre ésta ; sirve de almacén el tiempo que dura el estudio de los minerales que forman el grupo, pues se cubre todo el clasificador con una placa de vidrio de iguales dimensiones que la placa básica, para evitar la entrada de polvo ; proporciona en cualquier momento visión general de la composición del grupo y la posibilidad de examinar cómodamente uno de los componentes.

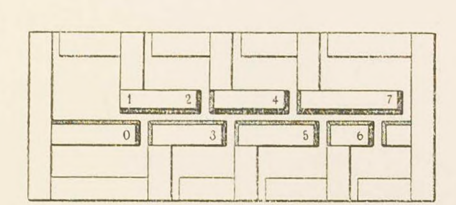


Fig. 1. Clasificador.

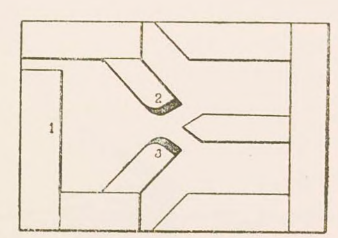


Fig. 2. Clasificador.

No hemos encontrado procedimiento mejor, ni más sencillo, para coger un grano que el pincel más fino de miniaturista. Los pelos hacen las veces de múltiples pinzas que cogen el grano en la forma conveniente, le dan la posición más adecuada, etc. Un grano así cogido puede pasarse con seguridad de uno a otro portaobjetos contiguos.

El uso del clasificador ha de hacerse teniendo el departamento 0 a la izquierda, en la parte inferior, porque llevando el pincel de izquierda a derecha nunca hay peligro de que el grano salte al ser arrastrado por la canal común e introducido en su departamento. Para vaciar éste, pasando su contenido a otro recipiente, se coloca el clasificador sobre una cajita de cartón, y con papel se dispone una tolva o canal de fondo plano y paredes levantadas, más ancha por un extremo que por otro. Aquél lleva una pestaña que se introduce entre el clasificador y la cajita en

que se apoya ; el extremo más estrecho de la tolva se hace descansar en el portaobjetos inferior, que ha de recibir los granos, colocado sobre la mesa. De este modo el mineral pasa suavemente del clasificador al plano inclinado del papel, y con el pincel se va empujando los granos hasta el extremo inferior, sin peligro de que salten y se pierdan.

Cuando en un grupo abundante domina un mineral, empleamos el clasificador, también de vidrio, que se reproduce a $^1/_2$ del tamaño natural en la figura 2.

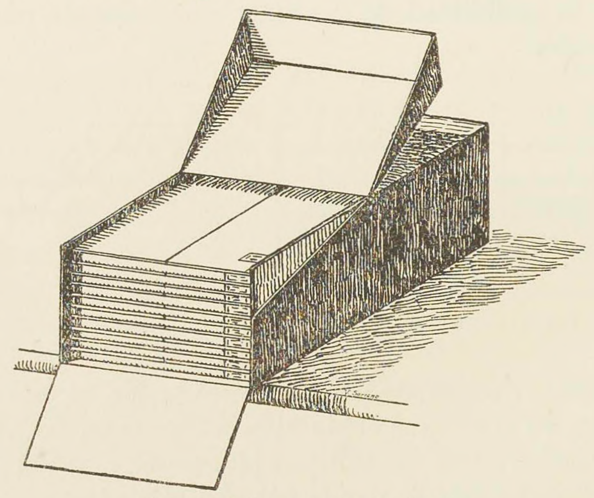


Fig. 3. Caja para preparaciones.

Preparaciones para guardar los minerales de las arenas. Tienen excelente aplicación a este fin las celdillas de cartón y papel negro, pegadas sobre portaobjetos, con cubreobjetos deslizable como una tapa de corredera, que describe A. FRANCKE [1] para formar colecciones de foraminíferos y ostrácodos. La práctica nos ha demostrado la conveniencia de preparar dos tamaños: uno con celda de 4 mm de diámetro, y otro de 9 mm de diámetro. El lector encontrará en el trabajo del mencionado autor todos

[1] C. KEILHACK. *Tratado de Geología Práctica*. Traducción de F. PARDILLO, página 921, 1927. G. Gili, Barcelona.

los pormenores del modo de construir estas bonitas y cómodas preparaciones; por ello prescindimos aquí de repetirlo.

Para guardar las preparaciones empleamos bandejas capaces para doce unidades, de tapa de dos hojas, metidas en cajas de diez bandejas de cabida, del tipo que puede verse en la figura 3. En la tapa de la caja va el índice del contenido total, en la cara interna de las tapas de las bandejas el índice de las preparaciones que guardan y en la cara externa de la tapa inferior hay un portatarjetas para indicar las localidades y demás datos de la colección general.

El presente trabajo ha dado lugar a 117 preparaciones, que han llenado, por consiguiente, una de estas cajas.

Determinación de los minerales. Además de todos los caracteres ópticos observables en los fragmentos minerales de pequeñas dimensiones, por los diversos procedimientos de la técnica micrográfica moderna, se ha investigado la exfoliación y la dureza. En este aspecto, la determinación de minerales en granos ofrece mayor facilidad y exactitud que en secciones delgadas, debido a la posibilidad de obtener por exfoliación medios de caras paralelas, y de poder examinar el objeto en diferentes direcciones conocidas.

Unas veces se presentan los granos ya exfoliados; pero en la mayoría de ellos es necesario producir este efecto, y nada más sencillo: basta poner el grano entre dos portaobjetos, llevar éstos al campo del binocular y observar cómo van apareciendo los planos de crucero al mismo tiempo que se ejerce sobre los portaobjetos presión gradual. De los fragmentos resultantes se eligen los más adecuados al examen óptico. Las enseñanzas que nos procura la exfoliación son importantísimas, especialmente si el grano conserva, aun siendo borrosamente, su forma cristalina.

Por este ensayo ya se viene en conocimiento aproximado de la dureza del mineral, atendiendo a la raya o excavación que el grano y sus fragmentos producen en el portaobjetos, al ser aplastados contra él. Cuando ha interesado apreciar más exactamente

la dureza del mineral, hemos incrustado el grano en la madera de un lápiz, por el extremo no cortado en punta, y hemos ensayado la dureza en los términos usuales de la escala de MOHS.

El examen de los granos desde el punto de vista de sus propiedades ópticas no ofrece dificultad si tiene superficies amplias de apoyo. Para observarlo a través de otras estrechas hemos ideado un artificio que nos ha dado siempre buen resultado. Sobre un portaobjetos se coloca un cubreobjetos (fig. 4) y en el borde de éste una pequeñísima gota de aceite de cedro o de glicerina espesa ; el grano se lleva al ángulo así humedecido, y por

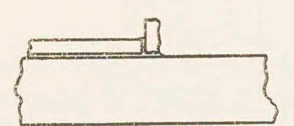


Fig. 4. Modo de sostener un grano

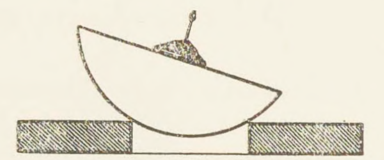


Fig. 5. Modo de examinar un grano.

adherencia al espesor del cubreobjetos queda fijo en la posición conveniente, una vez guiado y movido con el pincel y una aguja fina enmangada.

En casi todos los minerales hallados ha sido posible efectuar mediciones goniométricas y tener así conocimiento de las formas cristalinas y comprobación de las diagnosis fundamentadas en el peso específico, la dureza, exfoliación, caracteres ópticos y demás propiedades apreciables de modo especial en cada caso.

Aunque los granos de esta arena tienen tan exiguas dimensiones (pág. 24), con un poco de práctica se llega a manejarlos a voluntad para llevarlos al goniómetro. El procedimiento, de antiguo seguido en el laboratorio donde se ha efectuado este trabajo, consiste en formar con parafina, ennegrecida con sulfuro de antimonio en fino polvo, un cono muy agudo, sobre la platinita del goniómetro; en la proximidad se tiene encendido con poca llama un mechero de gas ; el cristalito ha sido previamente depositado en un portaobjetos puesto en el campo del

binocular, y a éste se lleva también el dedo índice izquierdo del operador, con la yema dirigida hacia arriba; en ésta, siempre mirando con el binocular, se deposita el cristalito, que con el pincel se ha cogido y subido del portaobjetos; sobre la yema del dedo se le da la orientación que convenga, es decir, se pone el extremo o parte que ha de hundirse en la parafina dirigido hacia la punta del dedo; al otro extremo del cristal se aplica la uña del pulgar de la misma mano, como ofreciendo un apoyo o resistencia; con la mano derecha se aproxima al cristalito el vértice del cono de parafina, que se ha tenido durante un momento junto a la llama del gas. y, por último, se ejerce horizontalmente suave presión contra el cristal, el cual, por estar apoyado en la uña del pulgar, penetra lo suficiente en la parafina.

Algo semejante puede hacerse sobre un portaobjetos; pero el procedimiento descrito tiene la ventaja de que el pulpejo del dedo ofrece al cristalito una base blanda, en la que no salta al darle diferentes movimientos, bien con el pincel y la uña del pulgar izquierdo, bien con ésta y la del derecho; el cristalito se estriba, además, en las líneas dactilares, y tanto él como la parafina se mantienen calientes durante la operación.

Cogido ya el cristal en el vértice del cono de parafina, se le examina por todos lados cómodamente, y se rectifica su posición, respecto al eje de la platinita, calentando la parafina con los pulgares y ejerciendo la conveniente presión en la base del cono. *Nunca debe calentarse para esto con el mechero del gas*, porque al fundirse el vértice del cono, el cristal se hunde por completo en la parafina, y es muy dificultoso extraerlo y limpiarlo con xilol.

Como es de rigor en estas investigaciones morfológicas, el cristalito ha de ser conocido perfectamente en sus facetas y dibujado a mano alzada, antes de proceder a las mediciones. Un artificio sencillo consiste (fig. 5) en clavar el pivote de la platinita en un pelotón de parafina puesta sobre un casquete esférico de cristal, de 2,5 cm de diámetro, apoyado en un orificio abierto en una pieza rectangular de cartón. Inclinando la esfera, el cris-

tal toma la posición que se desee, y con dos o tres luces distribuídas a su rededor se van destacando las facetas.

En cuanto a los goniómetros hemos dispuesto de modelos de limbo horizontal para mediciones aisladas, y de dos limbos, todos con sistema óptico con diafragmas, indispensables por la pequeñez de los cristales, que dan por ello, en general, reflejos poco brillantes. La inmensa ventaja de los goniómetros teodolíticos se manifiesta en grado sumo en la determinación de tan diminutos cristales: montados una sola vez, medidos y con algunos cambios del plano de la proyección, aparece clara su singonia.

CAPÍTULO III

Composición mineralógica de la arena

Clases y grupos considerados y separados. Tres grandes divisiones, que llamamos, clases, hemos hecho en las componentes de la arena, a saber :

Clase A.	Minerales	magnéticos.			
» B.	»	pesados ;	peso	específico	superior a 3,00
» C.	»	ligeros ;	»	»	inferior a 3,00

La separación entre los minerales de B y los de C se ha llevado a cabo con el líquido de Thoulet.

La gran variedad de minerales de nuestro material de estudio, advertible ya al simple examen de la arena con el binocular, nos aconsejó estrechar lo más posible las variaciones de densidad de los líquidos, a fin de que siendo los grupos de minerales precipitados muy concretos, no resultara excesivamente fatigosa la separación a mano, en la platina del microscopio. Uno de nuestros grupos comprende dos de Retgers : el del circón y del rutilo (pág. 17), por ser sencilla su composición y no haber separación neta de ambos minerales con respecto a los grupos siguientes ; en los demás hemos hecho dos y tres subdivisiones. Insistimos en que estas tienen solamente finalidad técnica, pues para fines teóricos, de composición, aceptamos y mantenemos el criterio del mencionado autor.

La correspondencia de nuestras clases y grupos con los de Retgers es como sigue :

		Retgers
A. Magnéticos	Magnéticos	1.° Magnetita.
B. Pesados p. e. > 3,00	> 4,80	2.° Minerales de hierro.
	4,80 — 4,24	3.° Circón y 4.° Rutilo.
	4,24 — 3,88 3,88 — 3,70	5.° Granate.
	3,70 — 3,48 3,48 — 3,28	6.° Piroxeno.
	3,28 — 3,20 3,20 — 3,04 3,04 — 2,97	7.° Anfíbol.
C. Ligeros p. e. < 3,00	2,97 — 2,82 2,82 — 2,75	8.° Calcita-cuarzo.
	2,75 — 2,70 2,70 — 2,60	9.° Cuarzo.
	2,60 — 2,56 2,56 — 2,51	10.° Cuarzo-ortosa.
	< 2,51	11.° Residuo.

Composición global. De las pesadas correspondientes a las clases, en tomas diversas, bien mezclada la arena, y del peso de cada una de los grupos separados, ha resultado la composición centesimal:

Clases	% en peso	Grupos	% en peso
A. Magnéticos	7,1	1.°	7,1
B. Pesados p. e. > 3,00.	82,4	2.°	3,3
		3.° 4.°	54,4
		5.°	23,1
		6.°	1,0
		7.°	0,6
C. Ligeros p. e. < 3,00.	10,41	8.°	0,2
		9.°	7,0
		10.°	3,2
		11.°	0,01

Como este cuadro muestra, hay en la arena gran predominio de los minerales pesados, lo que bien se evidencia por su peso específico medio, es decir, de toda la arena, que resulta ser 4,23.

De cuantos análisis de arenas conocemos, solamente son algo comparables a las de Vigo las que KEILHACK (¹) recogió en las dunas gemíferas de la costa sur de Ceilán, región de constitución petrográfica muy parecida a la de Galicia. He aquí el resultado del análisis :



Magnetita		1,8
Circón, Rutilo, Corindón, Topacio, Diopsida, Titanita	11,1	89,3
Granate, Epidota, Espinela, Dicroita, Biotita, Turmalina	78,2	
Cuarzo		8,9

Según observación del mencionado autor, la proporción de granate es de 70 %, de suerte que estas arenas son esencialmente granatíferas.

TSCHERWINSKY da a conocer (²) la composición de las arenas negras acumuladas en una extensión de 50 a 60 km en la costa norte del mar de Azof. Los análisis se refieren a dos muestras :

(¹) *Geología Práctica*, págs. 298 y 299.

(²) Véase la nota de la página 21.

	I	II
Magnetita	25,19	64,52
Circón	0,43	0,41
Granate	3,00	0,48
Estaurolita	13,40	7,38
Distena	0,62	1,54
Ortita	3,83	2,26
Sillimanita	1,25	0,35
Diopsida	0,19	2,35
Hornblenda	0,00	0,13
Muscovita	0,00	0,09
Calcita, conchas	0,78	0,11
Indeterminados	0,71	0,00
Pizarra	0,92	0,15

	I	II
A. Magnéticos	25,19	64,52
B. Pesados	22,69	14,90
C. Ligeros	52,12	20,58

Por el cuadrito de la derecha, en el que, aproximadamente, están reducidas a nuestras tres clases las cifras de la izquierda, se ve que estas arenas son, en primer término magnetíferas, en nada comparables a las nuestras.

Otros cotejos no cabe hacer, pues en el trabajo de HUSSACK (pág. 20) acerca de los minerales acompañantes del diamante en Bahía (Brasil), no hay datos analíticos referentes a la composición de las arenas, y si bien SHANNON (pág. 20) estudia 52 muestras de arenas negras concentradas, lo han sido por las operaciones de lavado en los placeres de Idaho (Colorado), y tienen por ello poco carácter natural.

Bien podemos calificar de singularísimas las arenas por nosotros investigadas: son arenas gemíferas, como las de Ceilán, con enriquecimiento extraordinario de circón.

Minerales hallados. En la siguiente lista consignamos los minerales que según nuestro análisis constituyen las arenas objeto de este trabajo, dispuestos por orden creciente de proporciones, a fin de que pueda abarcarse de una ojeada toda la composición mineralógica. En el cuadro final podrá el lector darse cuenta del orden de precipitación por densidad de los minerales, es decir, la composición de los grupos y clases, así como de los sucesivos tantos por ciento.

Los minerales que sólo tienen una rayita en la columna de %, se han encontrado en corto número de granos o de cristales, en cantidad inferior a la unidad decimal última apreciada en el peso ; pero de todos hay muestra en la colección de preparaciones.

Minerales de la arena circonífera de Vigo

1. Circón	67,3	Oro.	Epidota.
		Pirita.	Arfvedsonita.
2. Rutilo	7,6	Marcasita.	Sillimanita.
		Ilmenita.	Actinolita.
3. Magnetita	7,1	Ilmenorrutilo.	Glaucofana.
		Xenotima.	Piroxeno rómbico.
4. Cuarzo	6,7	Monacita.	Andalucita.
		Ceilanita.	Hidróxido de hierro.
5. Feldespatos	3,2	Anatasa.	Tremolita.
		Broockita.	Moscovita.
6. Estaurolita	2,9	Distena.	Biotita.
		Topacio.	Clorita.
7. Casiterita	1,2	Periclasa.	Esteatita.
		Grosularia.	Hidrocincita.
8. Vigoita	1,0	Corindón.	Restos de conchas.
		Acmita.	
9. Turmalina	0,3		
10. Limonita	0,2		
11. Almandino	0,2		
	97,7 %	2,2 %	

Precipitación y proporciones de los minerales de la arena circonífera de Vigo

MINERALES	%	GRUPOS	%	CLASES	%
1. Magnetita. 2. Ilmenita.	7,1 —	1.º Magnéticos	7,1	A. Magnéticos	7,1
1. Casiterita. 2. Circón. 3. Oro. 4. Pirita. 5. Marcasita 6. Xenotima. 7. Ilmenorrutilo.	1,2 1,0 (3-7) 1,1	2.º Minerales de hierro. p.e. > 4,80.	3,3	B. Pesados p.e. > 3,00	82,4
1. Circón. 2. Vigoita. 3. Rutilo (nigrina) 4. Limonita (seudomórfica) 5. Monacita. 6. Ceilanita. 7. Almandino.	47,6 1,0 5,6 0,2 (5-7) —	3.º Circón p.e. 4,80-4,50 4.º Rutilo p.e. 4,50-4,24	54,4		
1. Circón. 2. Rutilo (nigrina) 3. Almandino. 4. Estaurolita. 5. Anatasa. 6. Broockita. 7. Corindón	18,7 2,0 0,2 2,2 (5-7) —	5.º Granate p.e. 4,24-3,70	23,1		
1. Estaurolita. 2. Distena. 3. Topacio. 4. Periclasa. 5. Grosularia. 6. Acmita. 7. Epidota. 8. Arfvedsonita.	0,7 (2-8) 0,3	6.º Piroxeno p.e. 3,70-3,28	1,0		
1. Turmalina verde. 2. Sillimanita. 3. Actinolita. 4. Glaucofana. 5. Piroxeno rómbico 6. Andalucita. 7. Biotita. 8. Tremolita. 9. Indicolita. 10. Hidróxido de hierro.	0,3 (2-10) 0,3	7.º Anfíbol p.e. 3,28-2,97	0,6		

1. Turmalina verde. 2. Biotita. 3. Moscovita. 4. Restos de conchas. 5. Clorita. 6. Esteatita. 7. Hidróxido de hierro.	0,2	8.º Calcita-cuarzo p.e. 2,97-2,75	0,2	C. Ligeros p.e. < 3,00	10,41
1. Moscovita. 2. Clorita. 3. Restos de conchas. 4. Hidróxido de hierro. 5. Albita. 6. Oligoclasa. 7. Andesina. 8. Labradorita.	0,3	9.º Cuarzo p.e. 2,75-2,60	7,0		
9. Cuarzo.	6,7				
1. Ortosa. 2. Albita.	2,8	10.º Cuarzo-ortosa p.e. 2,60-2,51	3,2		
3. Feldespato alterado	0,4				
1. Hidrocincita. 2. Restos orgánicos.	0,01	11.º p.e. < 2,51	0,01		

CAPÍTULO IV

Descripción de los minerales

1. **Oro** (Lám. I, fig. 1)

En unos 150 gr de arena se han encontrado dos pepitas de oro del tamaño corriente de los demás granos, pues la fotografiada mide 0,41 × 0,25 mm. La superficie de estas pepitas apenas está desgastada, lo que indica que estas arenas han sido poco batidas.

2. **Pirita**

Se presenta con gran rareza en las formas { 100 } y { 201 } y en laminillas y fragmentos irregulares. Los cristales están limonitizados ; pero no así los fragmentos, que poseen el amarillo característico.

3. **Marcasita**

Como tal hemos determinado un mineral que se encuentra, con mayor abundancia que la pirita, en fragmentos irregulares y trozos de cristales, de un blanco de plata, amarillento en las superficies viejas, fuerte brillo metálico, que se ennegrece y vuelve magnético calentado sobre la lámina de platino y da en la perla de bórax las reacciones del hierro. Algunas mediciones goniométricas que han podido efectuarse en los fragmentos de cristales, concuerdan con los ángulos del mineral en cuestión.

4. **Magnetita** (Lám. I, figs. 2 y 3)

La proporción en que este mineral se encuentra con respecto a toda la arena (7,1) indica ya que esta procede, por lo menos en parte, de la descomposición de pizarras cristalinas básicas.

Los cristales corresponden a tres tipos principales: octaédricos, dodecaédricos y tetraédricos. Los primeros están, por lo general, asociados en crecimientos paralelos de pocos individuos

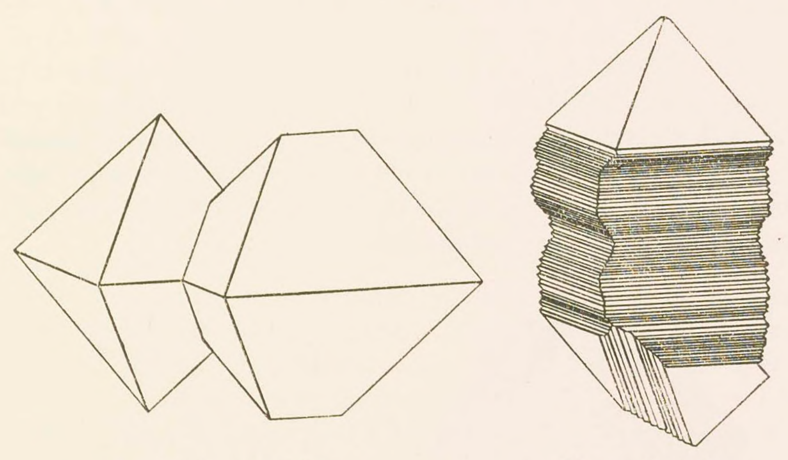


Fig. 6. Magnetita   Fig. 7. Magnetita

(fig. 6) o de numerosísimos lamelares unidos según { 100 } y { 111 } (fig. 7), dando formas muy irregulares, de fuelle. La compenetración cruciforme de los individuos se ha efectuado también como muestra la figura 8, en cristales alargados, según la manera de crecer la magnetita de las rocas, que semeja pequeños prismas. Cuando los individuos son tabulares según la cara del octaedro (fig. 9), la asociación es sólo perceptible por delgadas capas de crecimiento o ángulos entrantes muy pequeños. Los cristales dodecaédricos tienen la combinación oscilatoria { 111 } y { 110 } (fig. 10) o de crecimientos sucesivos sobre las caras del octaedro.

Con gran frecuencia se presenta el tipo tetraédrico, ya en cristales sueltos, ya maclados según 100, como se representa en la figura 11. Estas formas, ya conocidas en algunos yacimien-

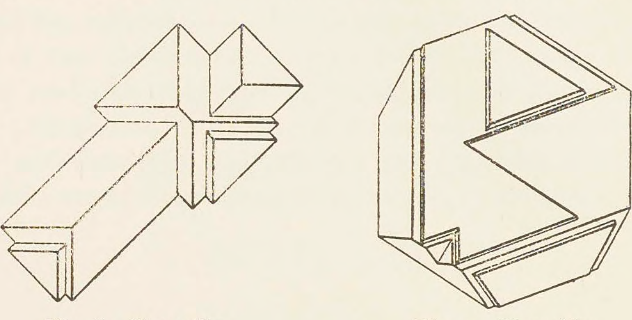


Fig. 8. Magnetita Fig. 9. Magnetita

tos de individuos macroscópicos de Suecia, y de algunas localidades de Nueva York, no se explican satisfactoriamente sino admitiendo la polaridad de los átomos, o un engarce de los mismos según estructura no holoédrica (1).

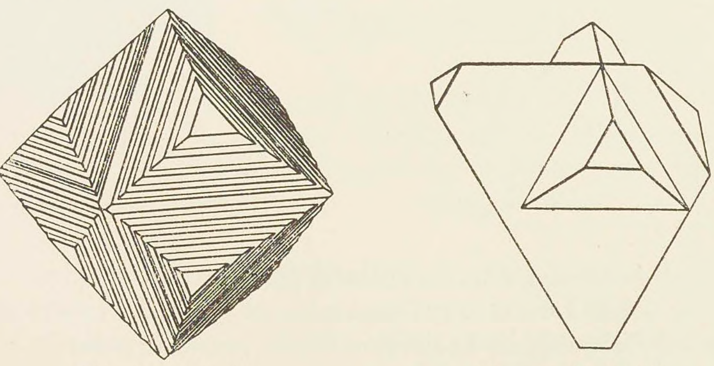


Fig. 10. Magnetita Fig. 11. Magnetita

En algunos cristales (Lám. I, fig. 2) hemos podido ver con el iluminador vertical la macla polisintética según 111, manifiesta por individuos muy delgados dispuestos según las otras tres caras del octaedro.

(1) BECKENKAMP, en HINTZE, *Handb. d. Min.* I, 3, pág. 59, 1921.

En muchísimos cristales se ha observado exfoliación francamente cúbica, como puede verse en la reproducción fotográfica de la lámina I, figura 2. Hay individuos en que la exfoliación trunca los vértices del octaedro, otros son completamente tabulares, y repetidas veces hemos comprobado tal particularidad apretando cristales entre dos portaobjetos : siempre hemos obtenido tabletas perfectamente paralelepipédicas. Esta propiedad, hasta ahora no observada, se relaciona con el fenómeno de separación que LEHMANN [1] puso de manifiesto calentando la magnetita y enfriándola rápidamente.

Algunos individuos presentan comienzos de alteración en hidróxido, y otros están completamente transformados en él, con el interior esponjoso. Estos cristales aparecen, por su menor densidad, en precipitaciones posteriores de la operación analítica.

5. **Ilmenita**

No hay facilidad en separar por imanes, ni otros procedimientos [2] la magnetita de la ilmenita, y por ello no conocemos la proporción en que se halla en estas arenas. No obstante, hemos de decir que en la parte atraída por el imán no se ha encontrado cristal alguno de ilmenita, y los pocos vistos y medidos, correspondientes al tipo reproducido en la figura 12, estaban en la parte ya limpia de minerales magnéticos.

6. **Casiterita** (Lám. I, fig. 4)

Se presenta en granos de tamaño variable entre 0,6 mm y 0,3 mm; de color negro, translúcidos en las partes delgadas, mostrando color rojo amarillento ; otros son transparentes en todo su espesor, con el mismo tono rojizo de los bordes de los anterio-

(1) *Zeitschr. f. Kryst.* 11, pág. 610, 1886.
(2) BÜCKING. *Min. Mittheil.* 1878, pág. 547.

res. Casi todos los granos conservan fragmentos de las caras cristalinas, y en no pocos están éstas completas, siendo posible la medición, que ha dado por resultado la existencia de la bipirámide { 111 }. Los granos se presentan con fracturas y aristas vivas, denotando su dureza y escaso rozamiento.

Muy notables son las maclas según 101, de cristales rojo-amarillentos, translúcidos a transparentes, como la representada en la figura 13. Presentan los individuos alargamiento según la

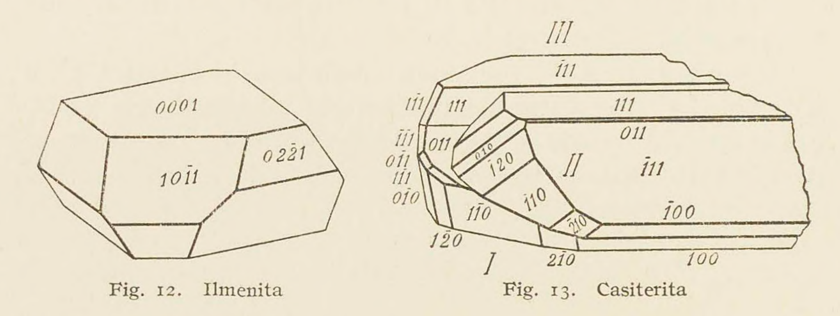


Fig. 12. Ilmenita

Fig. 13. Casiterita

arista [111,$\bar{1}$11], y la combinación { 100 }, { 110 }, { 210 }, { 111 } y { 101 }. La macla resulta con aspecto muy diferente del que ordinariamente presenta la casiterita macroscópica.

7. Ilmenorrutilo

Como tal calificamos unos cuantos granos hallados en el grupo de los minerales con peso específico mayor que 4,8. Tienen color negro de hierro, brillo metálico y están bastante redondeados ; pero algunos, entre ellos el reproducido en la figura 14, han permitido identificar la bipirámide { 111 } del rutilo. La exfoliación es prismática. La menor dureza, el peso específico (en el rutilo es 4,2-4,3) y las indudables reacciones del titano en la perla de sal de fósforo, no dejan lugar a duda en cuanto a la asimilación de esta especie al mineral descubierto por KOKSCHAROW en Miask y hallado también por BRÖGGER en las pegmatitas granitos

del sur de Noruega. Para este autor el ilmenorrutilo es la mezcla de $TiO_3(TiO)$ con TiO_3Fe y $(NbO_3)_2Fe$, mineral intermedio entre el rutilo y la mossita o tapiolita, su homeomorfo.

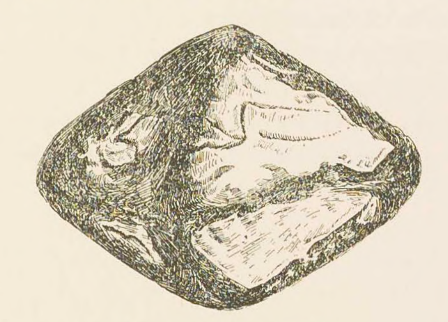


Fig. 14. Ilmenorrutilo

8. **Circón** (Lám. II, figs. 1-4 y lám. III, fig. 1)

Es éste, sin duda, el mineral de más interés y más importante de la arena. Por su proporción es el primero, pues consignado

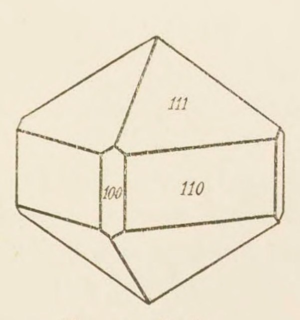


Fig. 15. Circón

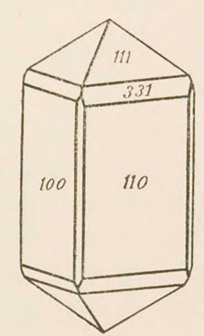


Fig. 16. Circón

queda en la página 39 que alcanza el 67,3 %. No hemos encontrado en la investigación bibliográfica otro caso igual de enriquecimiento de circón en las arenas.

Los cristales observados pueden clasificarse en los siguientes tipos :

1.° Combinación de {100}, estrecha, {110} y {111}, con poca altura de los prismas (fig. 15). Es el tipo más abundante, pues constituye él solo la mayor parte de la proporción antes dicha. Estos cristales tienen color melado algo rojizo, algunos son blanquecinos, y en conjunto dan a la arena el color tostado que le es característico.

2.° La misma combinación del tipo anterior con la bipirámide {331} y gran desarrollo de los prismas (fig. 16). Algunos

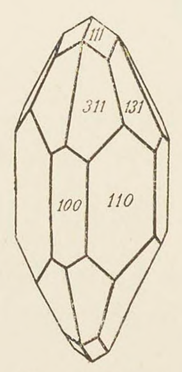


Fig. 17. Circón

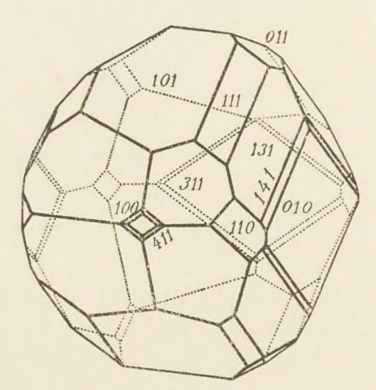


Fig. 18. Circón

de estos cristales son transparentes, casi incoloros o con tono amarillento y ráfagas rojizas.

3.° Combinación de {100}, {110}, {311} y {111} (fig. 17) (Lám. III, fig. 1). Son cristales en general transparentes, incoloros o ligeramente amarillos; con gran desarrollo, a veces, de la zona de los prismas; en ocasiones, con caras algo curvas.

4.° Cristales isométricos, completamente incoloros, de absoluta transparencia (Lám. II, figs. 3 y 4), y por estas cualidades mostrando su elevada refringencia, y dispersión fuerte, lo que unido a su aspecto regular tienen apariencia de pequeños diamantes. A esta semejanza contribuye también la nitidez de las caras, su intenso brillo y la bastante buena conservación de las

aristas. La transparencia de estos cristales y ausencia de color, indican que en su composición entra el cerio [1].

No cabe en manera alguna confusión con el diamante atendiendo al peso específico en primer término, a la birrefringencia y carácter uniáxico positivo, en algunos cristales observable, y, sobre todo, a las mediciones goniométricas.

Como muestra la figura 18, reproducción de uno de los cristales más complejos, son combinación de las formas {100}, {110}, {101}, {111}, {311} y {411}. En otros cristales más sencillos faltan las caras {411} y casi no aparecen las {110}, y el desarrollo de las restantes formas es más proporcionado, dando la apariencia de un cristal de la singonia regular formado por el dodecaedro romboidal y el trapezoedro. Sabido es, en efecto, que el circón es seudoregular, por virtud de lo cual las caras {100} y {101} ocupan casi la posición de las del dodecaedro romboidal y las {111} con las {311} vienen a formar el trapezoedro {211}. De las mediciones hechas resultan los siguientes ángulos :

	Observados		Calculados [2]	
	φ	ϱ	φ	ϱ
100	0° 00′	90° 00′	0° 00′	90° 00′
110	45 02	90 00	45 00	90 00
101	90 04	32 39	90 00	32 38
111	45 01	42 15	45 00	42 09
311	18 26	63 45	18 26	63 43

En general, los cristales de todos los tipos están muy poco rodados ; con fracturas, pero sin redondeamiento. A parte la gran dureza del circón, por la que se presenta siempre íntegro, aun en arenas muy batidas, es ley general de las arenas objeto de este trabajo el poco roce habido, en consecuencia con su acumulación en una zona de escaso oleaje y marea tranquila.

(1) C. DOELTER. *Handb. d. Mineralchemie*, III, 2, pág. 191, 1913.
(2) V. GOLDSCHMIDT. *Krytallogr. Winkeltabellen.*

Por lo que al peso específico concierne, hay la correlación ya observada entre esta constante y el color. En efecto, según KÖCHLIN (1) en 57 determinaciones del peso específico de circones de muy diversos colores, los pardoamarillentos, los pardorrojizos e incoloros tienen peso específico comprendido entre 4,68 y 4,74, y en nuestro análisis se precipitan los cristales del tipo 1, que son los más abundantes, en el grupo de peso específico 4,8-4,5-4,24, iniciándose ya en el grupo anterior. Los cristales incoloros, del tipo 4.°, tienen su máximo en el citado grupo de 4,8-4,5.

Se han encontrado trozos de circón zonal, con una capa externa pardoscura, que unas veces pasa gradualmente al núcleo incoloro, y otras está bien delimitada con éste.

Entre los cristales de los tipos ya dichos se precipitan unos granos redondeados, alargados, blanquecinos por efecto del esmerilado y roturas superficiales causadas por el roce. Son uniáxicos, positivos, se exfolían no muy perfectamente dando superficies inclinadas unos 43° sobre la extinción. Todos estos caracteres, y el haber podido efectuar en algunos mediciones goniométricas con restos de facetas, nos han llevado a la conclusión de que se trata de circón con exfoliación paralela a {111}. Sabido es que ésta también se señala para este mineral (2), y que la inclinación de las caras {111} sobre {001} (pág. 49) es de 42°09', lo que da el mismo ángulo para una de las extinciones sobre el perfil o traza de la exfoliación. En el citado trabajo de KÖCHLIN puede verse (pág. 371) que la dureza del circón disminuye con el peso específico, llegando a ser más blando que el cuarzo. Además, como K. von CHRUSTSCHOW demostró en sus estudios (3), sobre las relaciones del circón con las rocas que los contienen, el de los neis y rocas arcaicas análogas es ya redondeado y con

(1) *Min. Mittheil.* 22, 1903, pág. 370, nota 2.

(2) A. SCHMIDT (*Zeitschr. f. Kryst.* 19, pág. 57) observó que los circones rodados del sur de Australia, de color gris blancuzco a amarillo grisáceo, presentan exfoliación según {111}, más perfecta que la {110}.

(3) *Min. Mittheil.* 7, 1886, pág. 423.

vestigios de facetas, y bien pudieran tener tal origen los granos redondeados y alargados de que tratamos.

En cuanto a la procedencia de los demás tipos hallados, no es aventurado suponer que, en primer término, radica en las rocas de la serie granítica y sus formas filionianas y efusivas, y ya en particular, apoyados en las investigaciones del mencionado autor, cabe señalar como origen de los cristales de los tipos 1 y 2, los granitos ; y de los tipos 3 y 4, los pórfidos graníticos.

9. **Xenotima**

En el grupo de los minerales de peso específico superior a 4,8 se precipitan algunos granos de forma redondeada oblonga, muy amarillos. Partidos entre dos portaobjetos, muestran tener exfoliación con ángulo de 90°. En las laminillas así obtenidas se ha medido la birrefringencia, resultando ser de 0,060, por término medio. Homeomorfos del circón son la xenotima y la hussackita ; pero ésta se diferencia de la primera por su mayor birrefringencia. En cambio, las propiedades ópticas no separan la xenotima del circón. Los granos de que tratamos son indudablemente más blandos que éste, y la determinación hecha se apoya en que dan la reacción del fosmolibdato amónico, y en la perla de sal de fósforo, saturada de óxido de plomo, aplanada entre dos portaobjetos, se distinguen perfectamente los cristales alargados de extinción recta, correspondientes al itrio.

10. **Monacita**

En cantidad escasísima, que no llega a 0,02 %, se halla este mineral en las arenas objeto de nuestro estudio. Se presentan en granos de unas 0,2 mm, cuando más, algo rodados ; pero entre ellos los hay con buenas formas, que reproducimos en las figuras 19 y 20. Ambos cristales son combinaciones de {100}, {010}, {110}, {101}, {011}, $\{\bar{1}01\}$, $\{\bar{1}11\}$. Estas mismas

formas quedan muy reducidas de extensión en los cristales muy tabulares según {100}, que hemos podido observar.

En cuanto a los valores angulares se consigna su exactitud en las siguientes tablillas:

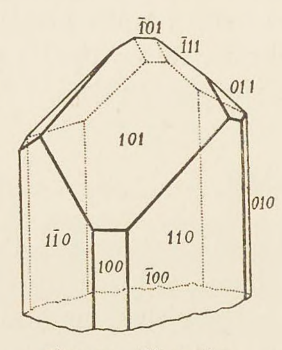


Fig. 19. Monacita

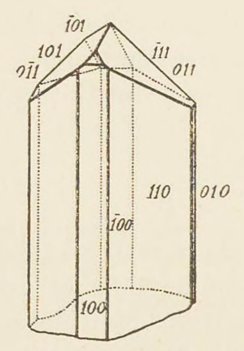


Fig. 20. Monacita

	Observados		Calculados	
	φ	ρ	φ	ρ
100	90° 00′	90° 00′	90° 00′	90° 00′
110	46 47	90° 00	46 43	90 00
011	14 50	44 00	14 43	43 44
101	90 16	50 40	90 00	50 48
1̄01	9̄0 00	35 00	9̄0 00	36 29
1̄11	3̄8 12	50 00	3̄8 37	49 50

11. **Vigoita**

En la sección de peso específico de 4,8 a 4,2 se encuentran bastantes granos (1,0 %) de un mineral de color rojoamarillento claro, como el de la casiterita, transparentes y otros oscuros y casi opacos. No tienen exfoliación manifiesta, ni aun rotos entre dos portaobjetos; son muy frágiles y de fractura concoidea. Los hay que conservan bastante bien las formas cris-

talinas, las cuales consisten en una bipirámide, unas veces bien conformada; otras, alargada según la arista {101}.

El ángulo de esta arista resultó ser, en varios individuos:

$111, 1\bar{1}1 = 57° 27'$; ($56° 52'$ en el rutilo; $58° 19'$ en la casiterita).

La dureza de estos granos es igual a la del rutilo y la casiterita. Tienen dicroismo intenso: amarillo, incoloro según *o*, y pasdusco en *e*. Se han hecho determinaciones de la birrefringencia, tomando unas veces los granos claros y otras los más oscuros. Estos granos se han roto entre dos portaobjetos, y de los fragmentos resultantes se han elegido los de dicroismo más fuerte, con el fin de aproximarse todo lo más posible a la birrefringencia máxima. Esta ha sido de 0,115. Valor superior al de la casiterita (0,0968), pero que no llega, ni con mucho al del rutilo (0,2871).

Los granos en cuestión son inatacables por el ácido clorhídrico. En la perla de bórax dan la reacción del estaño (reducción de una sal de cobre).

En resumen: tenemos aquí un mineral que con las formas bipiramidales frecuentes en la casiterita, posee el peso específico del rutilo, birrefringencia próxima a la de aquella y notable contenido de estaño. En tanto se practica el análisis químico del mineral en cuestión, con suficiente cantidad, extraída de otra mayor de arena, lo denominamos vigoita, inclinados a creer que se trata de un término de mezcla dentro de la serie isomorfa circón-thorita, dado que sus principales propiedades son intermedias entre las del rutilo y la casiterita.

Sabemos que no pocos rutilos contienen proporción algo considerable de estaño, y FRIEDEL y GRANDJEAN (1) dieron a conocer un rutilo estannífero, considerándolo como caso nuevo, si bien en 1868 había sido citada por HERMANN (2) tal particularidad, repetidas veces hallada después en yacimientos de los Estados Unidos.

(1) *Bull. Soc. Min. de France*, 32, pág. 52, 1909.
(2) HINTZE. *Handb. d. Min.* 1, 2, pág. 1622.

Los citados autores franceses dicen sobre el mineral por ellos hallado en pizarras micáceas de Vaux (Ródano) : « Este rutilo se presenta en cristales cortos, bien delimitados, frecuentemente maclados en rodilla (112) nunca repetida, y raras veces en macla de corazón (332), asimismo sencilla ». « La densidad, medida varias veces a 0°, resultó ser de 4,237 y 4,239, es decir, 4,238. La birrefringencia, medida aproximadamente, es siempre cercana a la del rutilo ordinario, y muy superior, por consiguiente, a la de la casiterita. El análisis ha dado 1,75 % de óxido de estaño ».

Estos datos no concuerdan en manera alguna con los del mineral por nosotros denominado vigoita, lo que parece confirmar nuestro supuesto de ser un nuevo término dentro de la serie isomorfa antes dicha.

12. **Rutilo** (Lám. III, figs. 2 y 4)

Este mineral se encuentra en dos aspectos : el de la nigrina y el del rutilo ordinario. La primera de estas variedades constituye la casi totalidad del 7,6 % determinado para todo el mineral, pues son raros los cristales de la segunda variedad. Se presenta la nigrina en granos redondeados y pocos cristales perfectos, completamente negros, con intenso brillo graso y tan opacos que en las esquirlas más delgadas sólo se observa ligerísima translucencia en los bordes.

Unos individuos conservan íntegras sus formas cristalinas, las cuales son : {100}, {110}, {101}, {111} y a veces {140} con *habitus* prismático, en algunos tabular según 100 (fig. 21). Estriación vertical, que se advierte también en los granos poco rodados. Por ella ha sido posible ver que hay maclas según {101}, pues el ángulo de las estrías es de 65°. Las mediciones goniométricas han determinado una macla (Lám. III, fig. 4) según {301}. En ella se ha encontrado la forma {140}.

Huelga casi decir que las reacciones químicas han dado claramente la existencia del hierro junto con el titano.

La otra variedad, escasa, como se ha dicho, se presenta en alguno que otro cristal bien conformado; pero en general en trozos de exfoliación. El mineral tiene el color rutilante característico y dicroismo débil. Se han observado trozos con maclas polisintéticas de otros delgados, espaciados entre sí, mostrando las extinciones ser la ley {101}.

13. **Anatasa** (Lam. IV, fig. 1)

Cristales algo rodados, algunos con buenas formas, que resultan ser {001}, {111} y {117} (fig. 22), con los siguientes ángulos:

	Obs.	Cal.
001 : 111	68° 18′	68° 18′
001 : 117	19° 10′	19° 45′

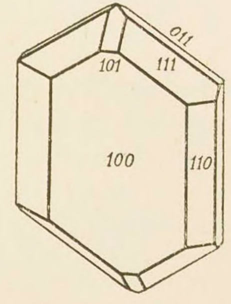


Fig. 21. Rutilo

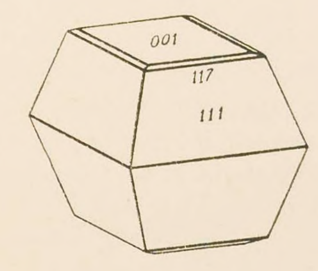


Fig. 22. Anatasa

Exfoliación perfecta según {111}; color azul celeste y amarillo de miel; brillo diamantino muy intenso. Así como en otras arenas resulta difícil identificar la anatasa, pues se presenta en finas laminillas, aquí se advierte en seguida la presencia de dicho mineral, aun no separada en grupos la arena, por el tamaño de los cristales y granos y los caracteres dichos, bien manifiestos.

14. **Limonita**

Granos no magnéticos con la forma de la magnetita, de color pardo, que se deshacen entre dos portaobjetos a la más débil presión, dando polvo pardo, con las reacciones del hierro. La estructura esponjosa de estas seudomorfosis es causa de que estos granos se precipiten en grupos de más baja densidad.

15. **Almandino** (Lám. III, fig. 3)

Proporción escasa (0,20 %) de cristales redondeados, probablemente desde su origen, pues sabido es que en los granitos y micacitas que los contienen ya se presentan así ; otros, bien conformados, mostrando claramente la combinación {110} y {211}, con el mismo desarrollo de ambas formas. A veces hay alargamiento según un eje ternario, y resultan seudotrigonales. Color rosa pálido, algunos son algo amarillentos.

16. **Ceilanita**

Granos de color verde, de tonos diversos, transparentes y por ello de manifiesta isotropía, y cristales regulares de tipo octaédrico con caras estrechas de {110}. Se han observado maclas perfectas según la ley de las espinelas, es decir, según {111}. Es ceilanita el mineral en cuestión por su peso específico elevado ; el índice de refracción, inferior a 1,72, nos lo diferencia de la hercinita, con la cual cabría confundirlo.

17. **Brookita**

Granos y cristales semejantes a los de nigrina por su aspecto externo, pero de coloración rojiza a parda; opacos, poco rodados, aunque rotos, con fractura de brillo vítreo. Cristales tabulares según {100}, con alargamiento vertical (fig. 23). Las formas han dado los siguientes ángulos :

	Observados		Calculados	
	φ	ϱ	φ	ϱ
100	90° 00′	90° 00′	90° 00′	90° 00′
120	30 00	90 00	30 43	90 00
122	29 05	49 55	30 43	47 41

Las cuatro caras de {122} presentan sensible variación en el ángulo ; pero hay que decir que sus reflejos son los mejores del cristal, y las cuatro se ajustan exactamente a la coordenada dicha.

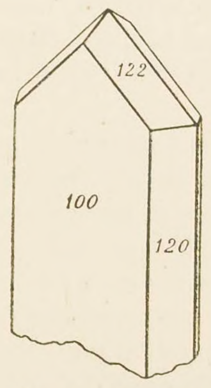


Fig. 23. Brookita

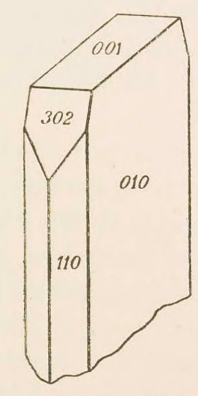


Fig. 24. Estaurolita

Este mineral que el estado macroscópico se halla en las grietas de las pizarras cristalinas, y que al microscópico no se ha determinado en las rocas frescas, es propio de las arenas. Se le cita de los placeres auríferos.

18. Corindón

Corto número de granos mucho más duros que el topacio, redondeados, pero de superficie rota y excavada. La coloración es azul clara, con manchas e inclusiones de color más intenso. Son transparentes con ligero dicroismo.

19. **Estaurolita** (Lám. IV, fig. 3)

Ha sido éste el mineral de más difícil determinación, por su aspecto tan diferente del que poseen los cristales macroscópicos. No obstante, la diagnosis es segurísima, porque a los caracteres ópticos, inconfundibles, se ha podido añadir la medición de buenos cristales, rarísimos entre los granos. Por su abundancia en la arena ocupa el sexto lugar, con proporción, considerable, de 2,9 %. Los granos se presentan redondeados, generalmente casi como cilindros algo alargados, de superficie rugosa, transparentes y de color ambarino, unos, y otros más rojizos. Brillo graso o céreo en las superficies externas, las internas tienen brillo vítreo intenso.

La mayor parte de los granos contienen numerosas inclusiones negras, completamente opacas, como se ve muy bien en la figura 3 de la lámina IV. Estas inclusiones se presentan a veces en formas dentríticas, gruesas, constituídas por granos botriodes ; en algunos granos llegan a ocuparlos por completo, y como quiera que por tal circunstancia no varía considerablemente el peso específico de estos granos de estaurolita, pues se precipitan en los grupos que les corresponden, hay que deducir que no existe marcada diferencia entre las densidades del incluyente y el incluído. Sabido es que abundan en la estaurolita las inclusiones de carbón y de turmalina, a las que muy probablemente hay que asimilar las observadas. En uno de los granos de la mencionada figura, pueden verse agujas del segundo de los mencionados minerales.

Para el estudio cristalográfico de la estaurolita hemos adoptado la orientación de DANA, seguida también por GOLDSCHMIDT en sus *Winkeltabellen*, que tiene sobre la de DES CLOIZEAUX la ventaja de dar a los planos de macla {032} y {232} los símbolos {011} y {111} respectivamente, en armonía con las leyes cristalográficas. La equivalencia entre ambas orientaciones es como sigue :

Dana	Des Cloizeaux
100	100
010	$00\bar{1}$
001	010
111	$23\bar{2}$
$x\ y\ z$	$h\ k\ l$

$h : k : l = 2x : 3z : -2y$

Los cristales hallados, con el mismo color, dicroismo e inclusiones de los granos, son combinaciones de las formas corrientes {010}, {001}, {110} y {302} ; unos son tabulares según {010} y alargados en sentido vertical (fig. 24), y otros tienen el desarro-

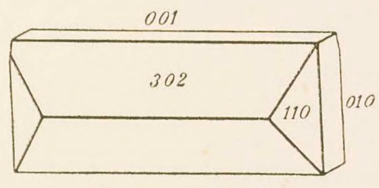


Fig. 25. Estaurolita

llo común, es decir, tabulares según {100} y alargados en el sentido del segundo eje cristalográfico (fig. 25). Los ángulos medios son :

			Calculados	
	φ	ρ	φ	ρ
110	55° 40′	90° 00′	55° 13′	90° 00′
302	90° 00′	64° 28′	90° 00′	64° 43′

La novedad hallada en este mineral consiste en las exfoliaciones. Ya hemos dicho que la mayor parte de los granos son alargados y redondeados como cilindros. Al apretarlos entre dos portaobjetos se rompen perfectamente por un plano transversal, lo que unido al color ambarino algo subido, dan, al primer momento, la impresión de topacios. Además de esta exfoliación, *A*

(fig. 26), hay otra *B* normal a ella, de la misma perfección, que en la figura corresponde al plano del dibujo, y una tercera, *C*, de igual categoría, normal a esta última y formando con la primera ángulo de 73°. Estas observaciones han podido hacerse muy bien con el goniómetro, y como algunos de los granos en cuestión tienen en el sentido del alargamiento cuatro planos que

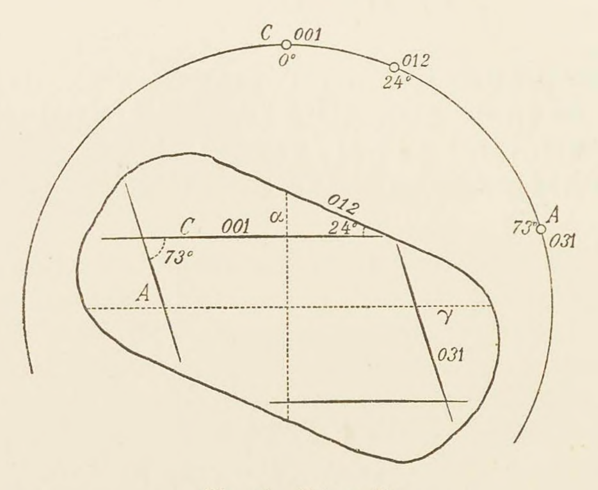


Fig. 26. Estaurolita

a veces dan buenos reflejos, se ha visto que la primera de las exfoliaciones citadas forma con el alargamiento ángulo de 41° y la otra resulta de 24° de inclinación.

Las mismas exfoliaciones se observan perfectamente con el microscopio. Trozos producidos por la exfoliación *B* presentan con toda claridad las trazas de las exfoliaciones que se cortan a 73°. *A* es más abundante que *C* y de trazos más anchos y profundos. Mirando por *C* se ve una figura de interferencia centrada con *α* normal al plano de la exfoliación, y por *A* aparece una figura inclinada; en ambos casos el plano de los ejes ópticos es paralelo a las intersecciones de las exfoliaciones *A* y *C* con la *B*.

De todo esto se deduce: que la exfoliación *B* corresponde a la {100}; dada a conocer por TSCHERMACK [1], pues en ella está el plano de los ejes ópticos; que las otras dos exfoliaciones pertenecen a la zona {100}; la *C* es, indudablemente, la de 001, porque tiene *a* normal, y la *A* es paralela a una cara cuyo ángulo resulta de 73°, a la que corresponde el símbolo más sencillo {031} ($\varrho = 71° 09'$, cal.). Además, se deduce que el alargamiento de estos granos es paralelo a la arista [021], puesto que la cara 012 tiene por ángulo ϱ 26° 06'.

Hemos hallado, pues, una exfoliación, no citada para la estaurolita, según la cara {031} de DANA ó {012} de DES CLOIZEAUX; exfoliación constante y tan perfecta como la de los piroxenos y anfíboles. Su combinación con la exfoliación según {001} da, en efecto, la impresión de una sección básica de estos minerales.

RETGERS en su trabajo « *Sur la composition du sable des dunes de la Neerlande* », página 40, dice: « es bien notable que los fragmentos se presenten tan angulosos; acaso hay conexión de esto con la exfoliación longitudinal, según el prisma y el braquidomo, que presenta la estaurolita ».

Nuestras observaciones dan segura explicación de estas particularidades, y no dejan dudas, gracias a la posibilidad de medir cristales y determinar sus propiedades ópticas, de que tan curioso elemento de las arenas sea estaurolita, lo que el autor citado sólo entrevió por algunas propiedades físicas.

Es difícil juzgar si en el sentido del alargamiento han existido las caras {012}, nunca citadas de la estaurolita. En general parece haber vestigios de ellas, pues el goniómetro revela que los granos tienen cierto aplanamiento en tales direcciones, según queda dicho.

El pleocroismo es fuerte y coincide con el de la estaurolita. Según γ amarillo rojizo intenso; según α amarillo rojizo muy pálido, y según β amarillo verdoso claro a incoloro. El signo

---

(1) *Min. Mittheil.* 1885, pág. 176.

óptico es, indudablemente, positivo ; $\varrho < \nu$ y $\gamma - \alpha = 0{,}0086$. El índice de refracción es próximo a 1,75.

Los granos son inatacables por los ácidos, infusibles al soplete, pero ennegrecen y se vuelven magnéticos.

Recordaremos aquí que la estaurolita es el indicador por excelencia del origen de las arenas, ya que es elemento privativo de las rocas arcaicas, principalmente las micacitas, y falta en las eruptivas.

20. Distena

Granos alargados, mostrando ser tabulares, con los bordes redondeados, transparentes, incoloros o ligeramente grises. Vistos con bastante aumento presentan líneas de separación paralelas entre sí, y fractura fácil según ellas. Por las caras que forman la tabla se observa una figura de interferencia centrada, con α normal, y baja birrefringencia. El índice de refracción es muy elevado. La extinción β está inclinada unos 30° sobre las líneas de separación, que así resultan ser las del deslizamiento según {001}. Por las caras de esta separación la extinción es paralela a las líneas de la misma. Todos estos caracteres concuerdan perfectamente con los de la distena.

21. Topacio

Solamente se ha encontrado un par de cristales en la cantidad analizada, identificados por la dureza, fractura transversal, ángulos de la zona vertical y una faceta 111.

22. Grosularia

Granos completamente esféricos, de ligero color rosado a pardo sucio, que no son confundibles con el almandino por la diferencia de peso específico. Son isótropos, muy duros, de gran refringencia y sin exfoliación bien marcada.

23. Periclasa

Entre los granos de grosularia se encuentran otros de forma cúbica, algo redondeada, incoloros o blanquecinos, isótropos, que se rompen fácilmente entre dos portaobjetos, mostrando perfecta exfoliación cúbica. Se disuelven en el ácido clorhídrico caliente.

24. Acmita

Este mineral, propio de las sienitas eleolíticas, sienitas sódicas y granitos, lo hemos encontrado en formas alargadas con perfectas exfoliaciones a 92° 54′, indudables de un piroxeno. Color verde intenso con cierto viso azulado, extinción de 3° 30′ sobre las caras de exfoliación y con respecto a la arista de las mismas. El carácter negativo de esta zona y el pleocroismo intenso de un verde oscuro en α a un verde claro en las vibraciones transversales, son caracteres que no dejan lugar a dudas en la diagnosis.

25. Epidota

Como puede verse en el cuadro de la página 40, la epidota se ha precipitado en el grupo del piroxeno, es decir, entre los minerales de peso específico comprendido entre 3,70 y 3,28. La hemos hallado en granos redondeados de color verde amarillento claro, con muy débil pleocroismo, según corresponde a la palidez de la coloración. Los granos son a veces algo alargados y con marcada sección cuadrangular. Se produce perfectamente la exfoliación según {001} y la subalterna {100}. En ésta se observan las trazas abundantes de la otra, que es más fácil. Unido esto a la transversalidad del plano de los ejes ópticos, y valor relativo de los índices sobre cada uno de los planos de exfoliación, el valor

elevado de los mismos, así como la birrefringencia fuerte, es indudable la determinación.

A este mismo grupo pertenece el olivino, es decir, en él se halla en las arenas que lo contienen. La distinción con respecto a la epidota es algo difícil si no es posible observar bien las figuras de interferencia por los dos planos de la exfoliación, y el ángulo que éstos forman, que es de 90° en el olivino y de unos 64° en la epidota. Como carácter diferencial está, además, el pleocroismo, pero sabido es que no todas las epidotas son coloreadas. De otra parte, en las arenas objeto de este trabajo no es probable se halle el olivino, pues si bien en la provincia de Pontevedra existe el filón basáltico de Larazo, no cabe que de él llegue a la ría de Vigo el mineral en cuestión, y es raro que las anfibolitas, piroxenitas y otras rocas antiguas lo contengan. De todos modos, el olivino se encuentra en las arenas marinas, por su gran dureza y el roce con los otros granos, que destruye, o mejor dicho, impide la alteración superficial; de la misma suerte, dice RETGERS, que un hierro manoseado por el uso se conserva bien aun no teniendo pintura o medios protectores.

26. **Arfvedsonita**

Individuos alargados, no rodados, con estriación longitudinal y extremos astillosos por consiguiente sin caras terminales, pero conservando bastante bien las de la zona vertical. Color negro intenso, aterciopelado, transparencia solamente en las esquirlas muy delgadas.

Calificamos este mineral de arfvedsonita por los siguientes caracteres: el peso específico, pues se precipita en el grupo de los piroxenos; la exfoliación longitudinal con ángulo de 55° 44′; la inclinación del elipsoide óptico que resulta ser de unos 14° en {010} y de 4° sobre las caras de exfoliación y, principalmente, el intenso y peculiar pleocroismo, a saber: azul verdoso oscuro en la vibración longitudinal, azul muy claro y casi incoloro en

las vibraciones transversales al alargamiento. El pleocroismo impide determinar si es α la vibración próxima a c, según afirma ROSENBUSCH.

La barkevikita se diferencia de este mineral por la posición de γ junto a c y el pleocroismo, de tonos pardorrojizos y amarillo-parduscos.

La arfvedsonita, mineral no muy frecuente, es propio de las sienitas.

27. **Sillimanita** (Lám. IV, fig. 4)

Este mineral se precipita en el grupo del anfíbol, y consiste en fragmentos no rodados, muy angulosos y de tamaño mayor que el corriente en los demás minerales de esta arena. Los fragmentos son transparentes o ligeramente blanquecinos algo grisáceos.

La zona vertical es medible en algunos, pero en la mayoría se presenta fuertemente estriada y compuesta por la agregación de numerosos individuos fibrilares.

Para el estudio de este mineral hemos adoptado la orientación de GOLDSCHMIDT, seguida también por GROTH, la cual consiste en tomar como {110} el prisma de $\varphi = 45^\circ\ 52'$, y así queda manifiesta la analogía con la andalucita. En estos fragmentos se presenta el prisma {110} y una cara dudosa de {120} Hay perfecta exfoliación según {100}, y una fractura constante según un plano inclinado 26° 40′ hacia {100}. La birrefringencia es algo fuerte ($\gamma - \beta = 0{,}018$) y γ coincide con el alargamiento.

La sillimanita es el mineral por excelencia de los neis, y por ello de gran valor para determinar el origen de las arenas. Su gran dureza y resistencia a la intemperie hace que pueda llegar a las playas.

28. **Turmalina** (Lám. IV, fig. 2)

En la proporción de 0,3 % hemos hallado este mineral en la arena objeto del presente trabajo, en forma de granos redon-

deados y en cristales perfectos. Aparte del inconfundible carácter de la cristalización, el mineral se advierte al momento por su dicroismo fuerte, observable con sólo la luz reflejada del portaobjetos. Los granos se diferencian de la hornblenda por la falta de exfoliación, porque no es confundible con ésta la fractura transversal.

Los cristales reunen buenas condiciones para ser medidos. En especial se han estudiado los seis tipos siguientes:

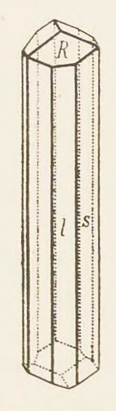


Fig. 27. Turmalina

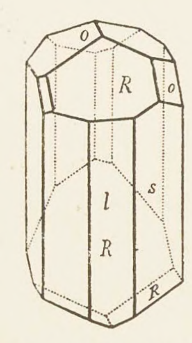


Fig. 28. Turmalina

1.° Cristales completos (fig. 27) con las formas $l = \{10\bar{1}0\}$, $s = \{11\bar{2}0\}$ y $R = \{10\bar{1}1\}$, y la misma combinación en uno y otro extremo.

2.° Individuos de la combinación l, s, R y en uno de los extremos $o = \{02\bar{2}1\}$ (fig. 28).

3.° Es muy frecuente en estos cristales además de las formas l, s, R, el desarrollo de una cara, como muestra la figura 29, dejando reducidas a pequeñas facetas las otras inclinadas. Las mediciones goniométricas han dado para esta cara singular, como símbolo más sencillo, $\{42\bar{6}3\}$, con los ángulos:

	Observados		Calculados	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$42\bar{6}3$	18° 19′	44° 07′	19° 06′	42° 23′

4.° Además de las caras *l*, *s*, *R*, *o*, hay el romboedro negativo $n = \{01\bar{1}2\}$. El desarrollo seudotetragonal, como se reproduce en la figura 30, es muy frecuente en los cristales de esta arena.

5.° En un cristal hemos hallado con las formas corrientes (fig. 31) una faceta con el símbolo aproximado $\{7\bar{1}\bar{6}1\}$, resultante de los ángulos:

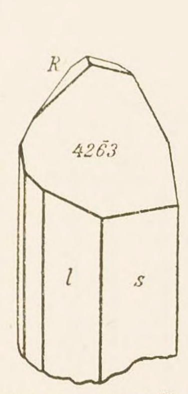


Fig. 29. Turmalina

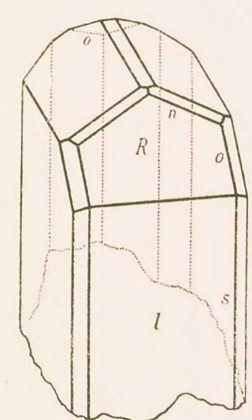


Fig. 30. Turmalina

	Observados		Calculados	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$7\bar{1}\bar{6}1$	7° 42′	75° 00′	7° 35′	73° 14′

6.° Otro cristal presenta la combinación reproducida en la figura 32, con la cara muy desarrollada $(36\bar{9}2)$, a la que corresponden los ángulos:

	Observados		Calculados	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$36\bar{9}2$	17° 58′	65° 30′	19° 06′	64° 02′

Es notable en el desarrollo de todos estos cristales la aparición de facetas únicas pertenecientes a escalenoedros de símbolo muy avanzado en las series. Ninguno de ellos ha sido citado para la turmalina. Dentro de la zona [120], las caras $42\bar{6}3$ y $63\bar{9}2$

tienen los símbolos 32 y 23, es decir, son caras de tercer grado, y por consiguiente verosímiles. La cara $7\bar{1}\bar{6}3$ pertenece a una zona vertical más avanzada, pero dentro de ella es la dominante. Todas estas caras tienen, pues, buena interpretación cristalográfica.

Los granos son transparentes, esféricos; algunos muestran formas alargadas, vestigio, acaso, del cristal de que proceden.

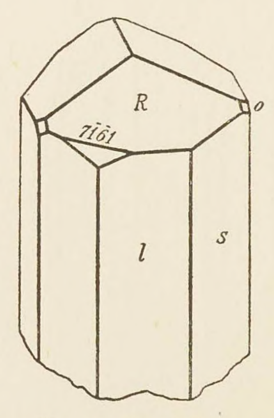


Fig. 31. Turmalina

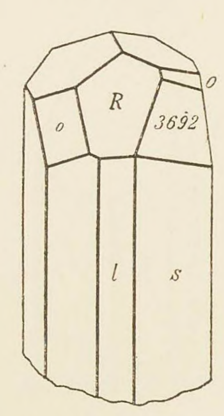


Fig. 32. Turmalina

En este mismo grupo y en el siguiente se precipitan trozos de color verde-azulado a azul intenso, con el aspecto de fragmentos de vidrio de color. Son irregulares, y aplastados entre dos portaobjetos no muestran exfoliación, rompiéndose en pequeños trozos poco dicroicos que con luz convergente dan figura uniáxica. Uno de los fragmentos conserva dos facetas a 29° 49'. Por estos caracteres consideramos se trata de la variedad de turmalina llamada *indicolita*.

Las especiales cualidades físicas de la turmalina son la causa, sin duda, de que siendo, mineral poco abundante en las rocas eruptivas, particularmente raro en los neis y pizarras cristalinas, se encuentre relativamente abundante en todas las arenas.

29. **Piroxeno rómbico**

En el grupo del anfíbol, pero en el subgrupo por nosotros formado de peso específico 3,19 — 3,04, se encuentran algunos trozos y cristales con aspecto muy semejante al de la sillimanita, fuerte estriación vertical, pero con birrefringencia notablemente menor. En un cristal, completo en la zona de los prismas verti-

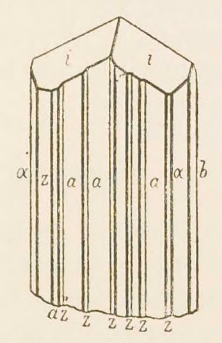


Fig. 33. Enstatita

cales y en un extremo, como se ha dibujado en la figura 33, ha dado el goniómetro la existencia de las formas:

$a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $z = \{210\}$, $\alpha = \{230\}$, $i = \{211\}$

La orientación y constantes seguidas son las adoptadas por von Rath:

$$a : b : c = 0{,}97133 : 1 : 0{,}57000$$

	Observados	Calculados
010 : 100 =	89° 57′	90° 00′
010 : 230 =	34° 33′	34° 28′
010 : 210 =	64° 40′	64° 05′
210 : 211 =	36° 54′	37° 57′

Los cristales son tabulares según {100}, y la estriación resulta de la combinación oscilatoria de esta forma y las {210} y {230}. La existencia de bipirámide {211} es característica de algunos yacimientos, como, por ejemplo, Peel Island (Japón), cuyos cristales fueron estudiados por Yasuschi Kikuchi [1]. En cuanto a las propiedades ópticas, tenemos $a = \alpha$, $b = \beta$ y $c = \gamma$, con birrefringencia $\gamma - \alpha = 0{,}009$ y $\gamma - \beta = 0{,}005$, posición del elipsoide y valores que concuerdan con los del mineral fresco. El signo óptico no ha podido determinarse ; pero la carencia de pleocroismo, pues el mineral tiene gran transparencia y color uniforme ligeramente amarillento, nos inclina a considerar este piroxeno rómbico como *enstatita*.

30. **Glaucofana**

Hay en esta arena un anfíbol en fragmentos alargados, fibrosos, de perfecta exfoliación prismática a 55° 35', fractura transversal, negruzco y translúcido en las partes delgadas, cuyo peso específico está comprendido entre 2,97 y 3,19. Los trocitos más delgados, producidos por la exfoliación entre dos portaobjetos, manifiestan extinción de 3° sobre la arista de la zona, y pleocroismo muy fuerte, de azul intenso, algo pardusco, en la vibración longitudinal, a un verde muy claro o incoloro en la vibración transversal. El pleocroismo impide determinar el signo óptico de la zona vertical ; pero los caracteres ya dichos concuerdan con los de la glaucofana, mineral, de otra parte, casi limitado a las pizarras cristalinas. De la arfvedsonita y riebekita se diferencia por su peso específico mucho más bajo y los tonos de absorción en las vibraciones transversales.

31. **Actinolita**

Como tal designamos otro anfíbol verde claro, de buena exfoliación según (110) y pleocroismo muy débil de verde pálido

(1) HINTZE. *Handb. d. Min.* II, pág. 990.

en sentido transversal al verde algo pardusco en la vibración longitudinal. En láminas muy delgadas es incoloro. La extinción sobre (110) es de 15° con referencia a la arista de la zona.

32. **Tremolita**

Pocos fragmentos redondeados, fibrosos, muy deleznables, con la exfoliación de anfíbol, color gris ligeramente verdoso, translúcidos y no pleocroicos.

Resumen sobre piroxenos y anfíboles

De los primeros hemos encontrado como más abundante la acmita y poquísima enstatita, y, en consonancia con la composición petrográfica de la zona madre de estas arenas, faltan los piroxenos de las series de la diopsida y la augita, aunque ya es sabido que hay variedades de granito ricas en augita, así como anfibolitas y esquistos de actinolita y neis augíticos. Además, de haber habido piroxenos de las series dichas en las rocas originarias, hubieran llegado a la arena con la misma integridad que los otros minerales que la componen, pues son tan resistentes como ellos a las acciones meteóricas, con la ventaja de tener exfoliación poco fácil.

De los anfíboles se halla en nuestra arena principalmente arfvedsonita y glaucofana y muy escasamente actinolita y tremolita. Hay falta, asimismo, de horblenda ; pero en este caso no podemos concluir que sea originaria esta ausencia, porque el anfíbol en cuestión, por su exfoliación fácil y poca resistencia a la acción meteórica, no llega a acumularse en toda su cantidad en la arena.

Acorde con el origen del material que estudiamos, está el predominio casi exclusivo de los términos alcalinos, tanto en piroxenos como en anfíboles.

33. **Andalucita**

Granos de color rosado, transparentes, con inclusiones negras, rodados y rotos, sin formas cristalinas que puedan medirse. Aplastados suavemente entre dos portaobjetos dan la exfoliación prismática a 89° 05′. Las inclusiones carbonosas llegan a veces a invadir completamente el grano, existiendo, por consiguiente, todos los tránsitos de un grano incoloro a otro casi negro. Es indudable la posición del elipsoide con $a = \gamma$, $b = \beta$ y $c = \alpha$, observada en relación a la exfoliación. Las birrefringencias $\gamma - \alpha = 0{,}013$ y $\gamma - \beta = 0{,}006$, y el pleocroísmo rosado en la vibración α y verde claro casi incoloro en las vibraciones transversales, nos dan absoluta seguridad en las diagnosis.

Todos los granos hallados tienen perfecto estado de conservación.

34. **Hidróxido de hierro**

Encontramos en los grupos inferiores un mineral de aspecto granuloso y color rojo pardo, de diversas tonalidades, en trozos irregulares en su rotura, que entre dos portaobjetos se aplastan con gran facilidad, ofreciendo la resistencia del barro seco. Las superficies internas presentan el mismo color que las externas. Tratado este mineral por ácido clorhídrico en frío, se disgrega sin efervescencia en pequeños trozos que se van decolorando hasta quedar blancos. La disolución da la reacción del hierro con gran intensidad. El residuo consiste en diversos minerales, como cuarzo, feldespato, etc., lo que demuestra que los agregados en cuestión son impregnaciones de un hidróxido de hierro precipitado.

Sobre la génesis de estos hierros encontrará el lector un resumen metódico de los conocimientos actuales, en la obra del ingeniero P. H. SAMPELAYO, titulada « Los hierros de Galicia » (1)

(1) *Mem. del Inst. Geol. de España*, t. IV.

35. **Micas**

La proporción que hay de estos minerales es insignificante, lo que se comprende bien, pues el viento y las aguas lo eliminan con facilidad. Biotita alterada y moscovita con los caracteres ordinarios, son las dos especies que hemos encontrado.

36. **Clorita**

Láminas relativamente gruesas, verdeoscuras, que por exfoliación dan otras más delgadas, apenas pleocroicas, aparentemente uniáxicas.

37. **Esteatita**

Mineral en granos muy redondeados, de brillo graso, de color verde amarillento claro, verde más puro e intenso y pardo claro, translúcido y muy blando, que se deshace a la más ligera presión en un polvo blanco, cristalino, sin extinciones.

38. **Cuarzo**

De la naturaleza de estas arenas da buena idea la proporción 6,7 % correspondiente al cuarzo que contienen. Cuando en la mayoría de las acumulaciones psamíticas alcanza la sílice el 80 % y aun más, el predominio lo constituyen aquí circón (67,3), rutilo (7,6) y magnetita (7,1).

De tres maneras se presenta el cuarzo :

a) en granos angulosos de aristas vivas, constituyendo esta modalidad casi toda la proporción ; algunos granos van unidos a hojuelas de mica oscura y trozos de glaucofana ;

b) pequeña cantidad de granos completamente redondeados y translúcidos por efecto del esmerilado de la superficie ; partidos muestran interior completamente hialino ;

c) cristales bipiramidados, con poquísima extensión del prisma, y otros prismáticos con la diferenciación en los dos romboedros. Los cristales de este último tipo están a veces alargados muy irregularmente en formas sinuosas.

Aunque ya sabemos que el cuarzo se presenta en las rocas en granos bastante redondeados, los de la sección *b*), tan redondos y esmerilados, pudieran provenir de aportaciones eólicas, porque los minerales de las arenas se desgastan poquísimo por la vía acuosa, en tanto quedan muy fraccionados y rodados por el transporte en seco.

39. **Feldespatos**

Por su peso específico creciente, el orden de precipitación de los feldespatos es :

P. e.		Grupo
2,75	Anortita	Calcita-cuarzo.
2,73	Bytownita	Cuarzo.
2,70	Labradorita	
2,67	Andesina	
2,65	Oligoclasa	
2,62	Albita	
2,59	Anortoclasa	Cuarzo-ortoclasa.
2,55	Microclina	
2,55	Ortoclasa	

Así resulta que la mayor parte de las plagioclasa se precipitan con el cuarzo, pues de un lado la anortita y de otro la albita están por su peso específico en el límite de este grupo. La separación de ambos minerales es dificultosa con el binocular, y solamente poniendo gran atención en la transparencia, incoloridad y falta de exfoliaciones, cabe aislar el cuarzo de los feldespatos. No sin gran fatiga lo hemos hecho nosotros para llegar a establecer la proporción total de feldespatos, que, como en el cuadro general se consigna, es de 3,2 %.

Como quiera que se trata de granos, es decir, hay siempre la posibilidad de producir las dos exfoliaciones principales, la determinación de los feldespatos no ofrece, en general, las dificultades de las secciones micrográficas. Primeramente se ha medido en el goniómetro el trozo de exfoliación para conocer por los ángulos la orientación del cristal, es decir, el símbolo de las caras de ambos pinacoides; después se ha llevado el trozo al microscopio y en éste se han determinado las extinciones con respecto a la arista [100] sobre las caras 001 y 010. La conclusión de la especie se ha deducido con las tablas y nomogramas que contienen todas las obras de mineralogía, de minerales petrográficos o especiales de plagioclasas, como las de HINTZE, ROSENBUSCH-WÜLFING, DUPARC, etc.

Labradorita. Se ha encontrado escasísima. Exfoliación a 85° 30′; extinciones de — 6° 58′ en 001 y — 20° 21′ en 010. Estas características y el peso específico comprendido entre 2,74 y 2,70 nos llevan a afirmar la determinación del mineral ($Ab_{45}An_{55}$).

Andesina. Hallada en el subgrupo de 2,70 a 2,60, con exfoliación de 86° y extinciones de casi 0° en 001 y — 16° en 010. Corresponde a una andesina muy próxima a labradorita.

Oligoclasa. Los granos estudiados han dado la exfoliación a 86° y extinciones casi paralelas en ambos pinacoides, con respecto a la arista común. Es, pues, oligoclasa en el límite con andesina ($Ab_{10}An_{30}$).

Albita. Constituye la gran masa de todos los feldespatos, incluída, pues, la ortosa. Los cristales son combinaciones de {010}, {001}, {110} y {130} maclados según la cara 010. En uno de estos cristales las extinciones han sido de + 4° en 001 y + 19° en 010, lo que corresponde a una albita pura, y aproximadamente lo mismo se ha medido en trozos de exfoliación.

Ortoclasa. Sigue en importancia por su proporción a la albita, y se presenta en granos más o menos redondeados, con exfoliación interna abundante según {001}.

Los dos últimos subgrupos de nuestra división están constituídos por feldespato alterado.

La existencia de estas especies y su proporción relativa vemos están perfectamente acordes con la naturaleza petrográfica de la zona donde se halla la arena objeto de este trabajo.

40. Hidrocincita

Mineral blanco, en algún punto verde, opaco, de estructura granuda y en algunos sitios con el aspecto de costras. Se disuelve con efervescencia en el ácido clorhídrico, y sobre la lámina de platino da el verde RIEMANN con el nitrato de cobalto. Se ha encontrado en poca cantidad.

41. Restos orgánicos

Como era de esperar, falta en esta arena la calcita; pero en su grupo de precipitación y en el siguiente se recoge pequeña cantidad de fragmentos de conchas de moluscos y caparazones de foraminíferos. No obstante el yacimiento marino de la arena, ha sufrido en esta parte orgánica la misma levigación de los minerales ligeros, que en tan escasa proporción se hallan con respecto a los pesados. Un examen de conjunto con la lente binocular, no revelaría el origen marino de la arena, pues es imperceptible la cantidad de fragmentos orgánicos calizos, así como la de restos de vegetales marinos, que se recogen como residuo de todo el análisis.

Laboratorio de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Barcelona. Mayo de 1928.

ÍNDICE ALFABÉTICO

ÍNDICE

—



Fig. 2. — Magnetita × 20



Fig. 4. — Casiterita × 20



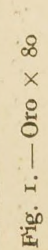


Fig. 1. — Oro × 80

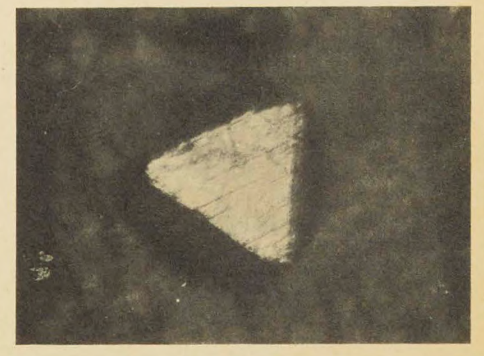


Fig. 3. — Magnetita × 90

Lám. II

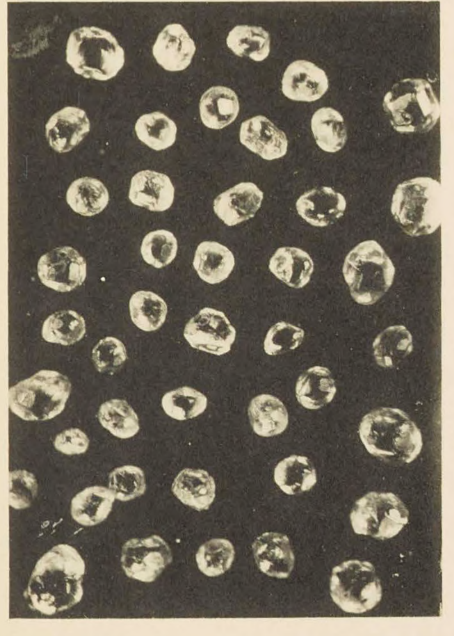


Fig. 2. — Circón × 20

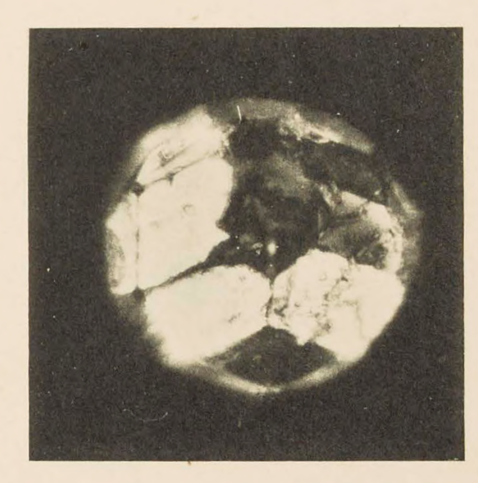


Fig. 4. — Circón × 160



Fig. 1. — Circón × 20



Fig. 3. — Circón × 90

Lám. III

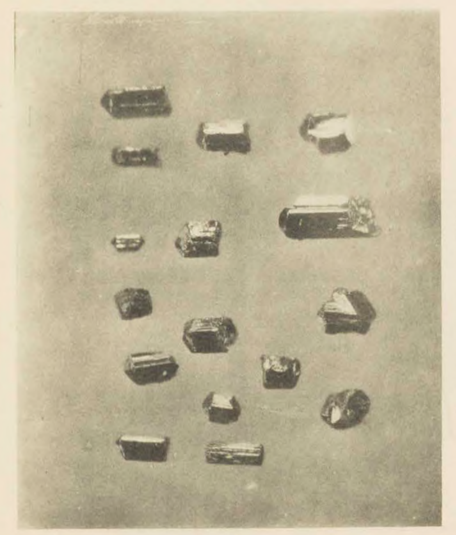


Fig. 2. — Rutilo × 20



Fig. 4. — Rutilo × 80

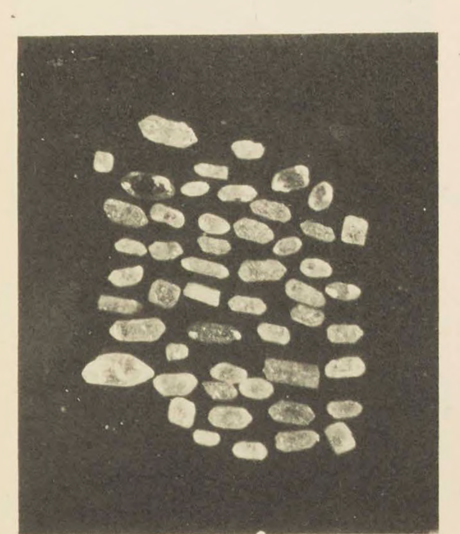


Fig. 1. — Circón × 20

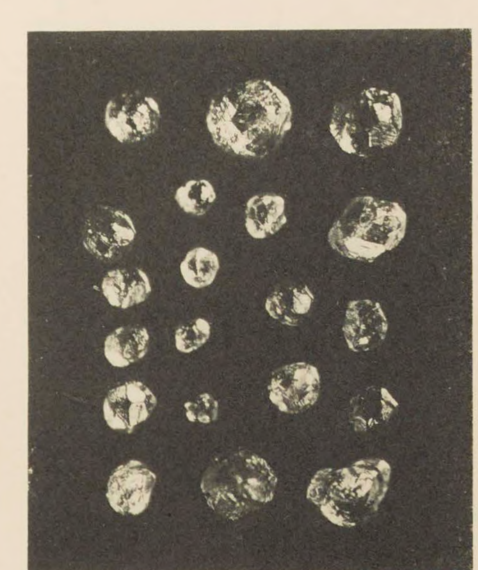


Fig. 3. — Granate × 2

Lám. IV



Fig. 2. — Turmalina × 20

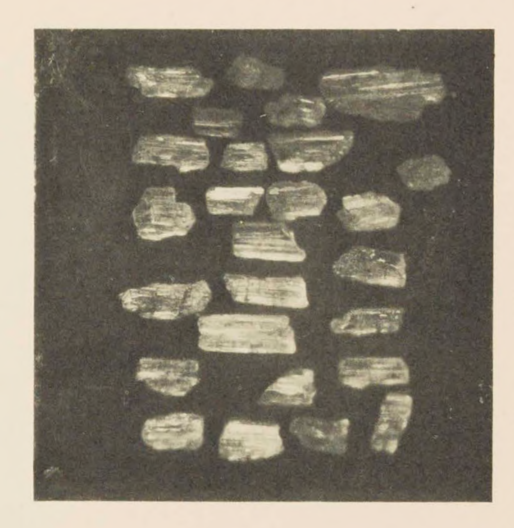


Fig. 4. — Sillimanita × 20

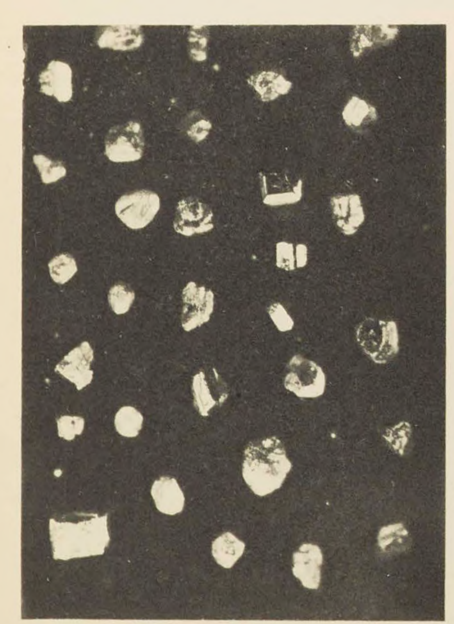


Fig. 1. — Anatasa × 20

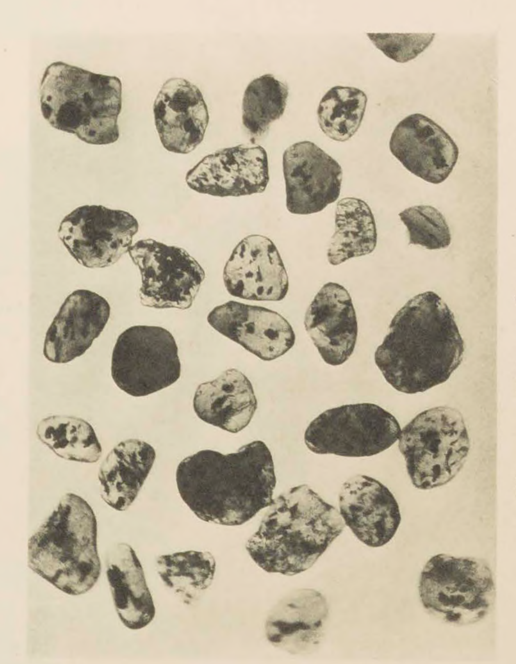


Fig. 3. — Estaurolita × 40

Lám. V

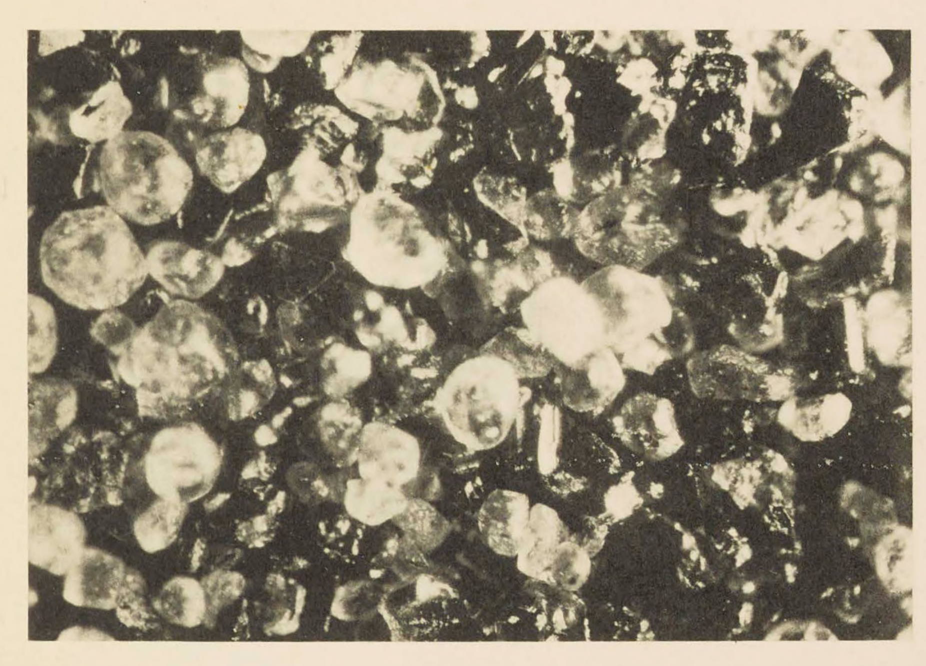
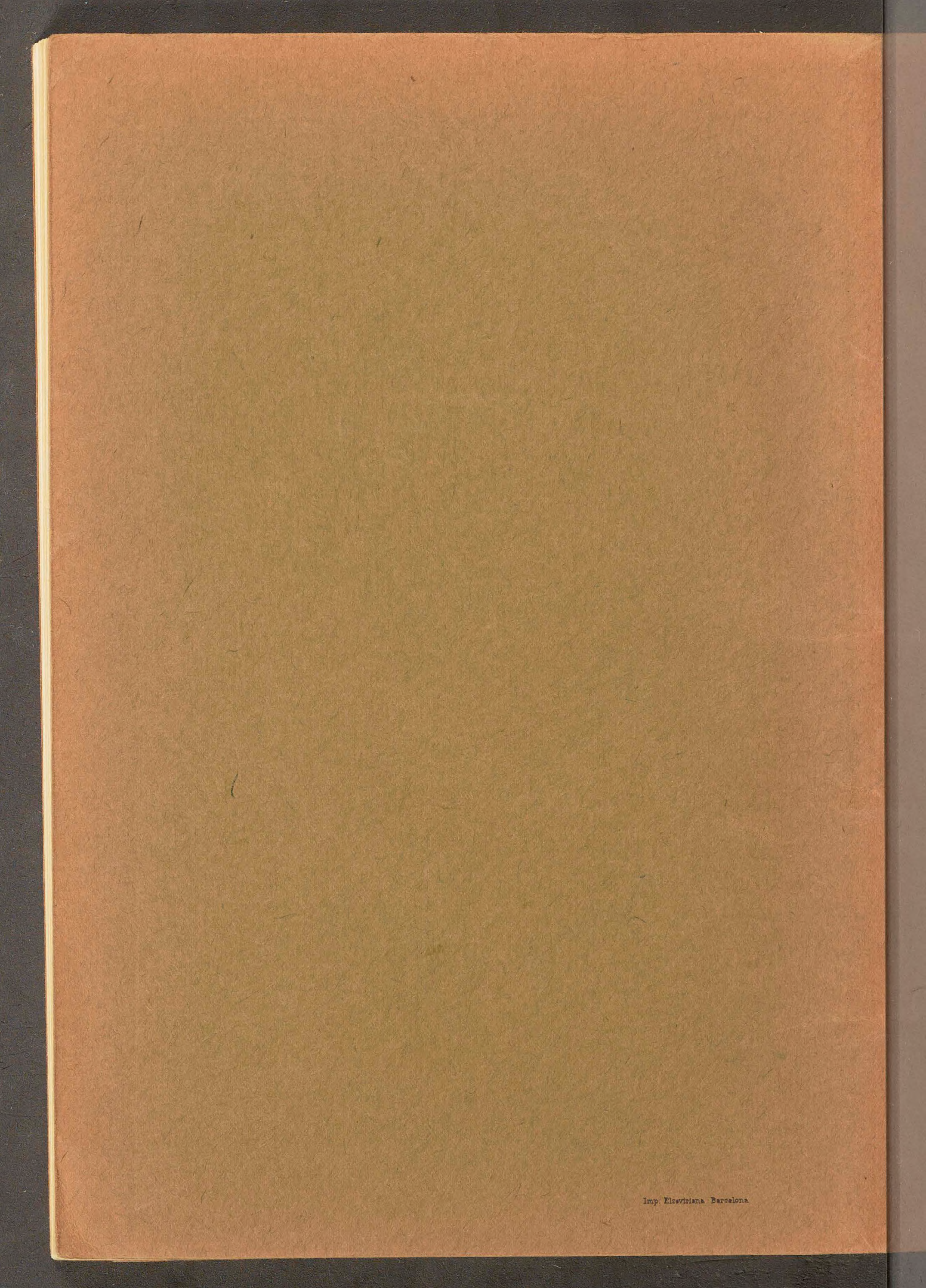


Fig. 2. — Selección de minerales × 30



Fig. 1. — Aspecto general de la arena × 30



Imp. Elzeviriana Barcelona